

**INFORME  
PROYECTO CASCADA**

**Efecto de la sombra sobre las plagas y enfermedades, a través  
del microclima, fenología y estado fisiológico del cafeto**



Fomentado por el:



Ministerio Federal  
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza,  
Obras Públicas y Seguridad Nuclear

**Rogelio Antonio Villarreyña Acuña**

**Revisado por Jacques Avelino**

**08 de junio del 2016**

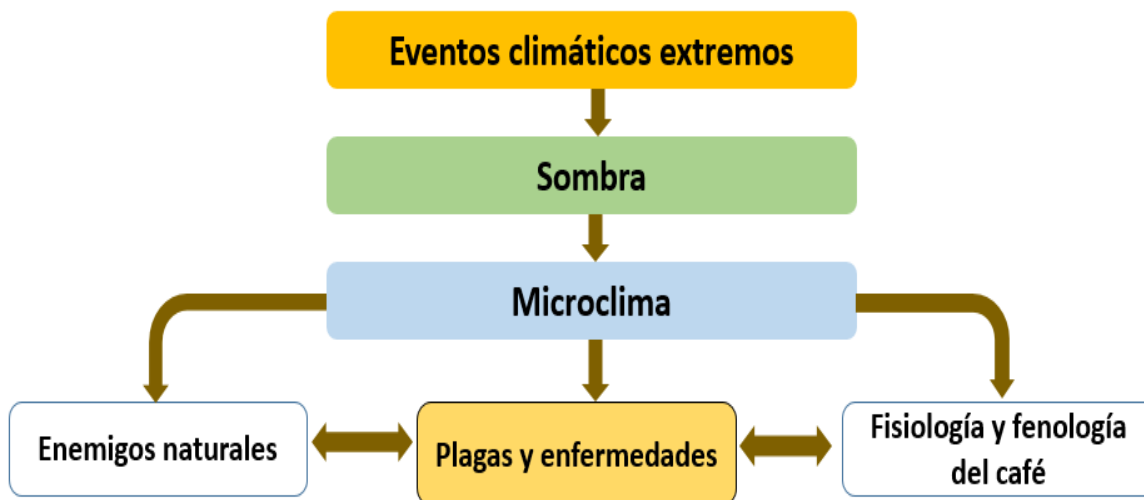
en virtud de una resolución del  
Parlamento de la República Federal de Alemania

## Tabla de contenido

1.	Introducción .....	1
2.	Plagas y enfermedades de mayor importancia en el cultivo del café .....	2
3.	Efecto de la sombra sobre el microclima dentro del cafetal.....	3
4.	Efecto del microclima generado por la sombra sobre las plagas y enfermedades .....	5
4.1.	Efecto de los factores climáticos sobre las plagas y enfermedades.....	5
4.1.1.	La lluvia (precipitación).....	5
4.1.2.	El viento .....	6
4.1.3.	La humedad relativa y el rocío .....	6
4.1.4.	La temperatura .....	6
4.2.	Efecto del microclima generado por la sombra sobre las plagas y enfermedades .....	7
4.2.1.	Efecto del microclima generado por la sombra sobre la roya del café .....	7
4.2.2.	Efecto del microclima generado por la sombra sobre el ojo de gallo del café .....	8
4.2.3.	Efecto del microclima generado por la sombra sobre la antracnosis del café.....	9
4.2.4.	Efecto del microclima generado por la sombra sobre la broca del café .....	11
5.	Enemigos naturales de las principales plagas y enfermedades del café.....	12
5.1.	Efecto del microclima creado por la sombra sobre enemigos naturales de plagas y enfermedades del café .....	13
5.2.	Efecto del microclima generado por la sombra sobre la fisiología y fenología del café .....	14
5.3.	Efecto del microclima generado por la sombra sobre el desarrollo de los cafetos, floración y fructificación.....	14
5.4.	Efecto del microclima generado por la sombra sobre las malezas .....	15
5.5.	Efecto del clima generado por la sombra sobre la materia orgánica y humedad del suelo .....	15
6.	Efecto de algunos aspectos fenológicos y fisiológicos del café sobre las principales plagas y enfermedades que lo afectan, enemigos naturales y su relación con la sombra .....	16
6.1.	Efecto de la carga fructífera sobre las enfermedades y su relación con la sombra .....	16
6.2.	Efecto del desarrollo de las hojas sobre las enfermedades y su relación con la sombra .....	16
6.3.	Efecto de hospederos alternos de enfermedades y su relación con la sombra.....	17
6.4.	Efecto del tiempo de floración de los cafetos sobre la incidencia de broca del café y su relación con la sombra.....	17
6.5.	Materia orgánica y humedad del suelo y su efecto sobre los enemigos naturales y su relación con la sombra.....	17
7.	Conclusión .....	18
8.	Agradecimientos.....	18
9.	Literatura consultada.....	19
10.	Anexos .....	22

## 1. Introducción

La variabilidad y cambio climático ya son una realidad en Centroamérica y el mundo, y sus efectos negativos están teniendo un impacto sobre el sector agrícola, con daños evidentes sobre la producción de alimentos. Los eventos extremos son cada vez más frecuentes (fuertes lluvias, sequías, olas de calor, entre otros). En países como Nicaragua y otros países de Centroamérica, se prevé, para el año 2030, un aumento en la temperatura media anual de 1.4°C en promedio (Bouroncle *et al.* 2014) y una disminución de la precipitación anual de 70 mm (Ovalle-Rivera *et al.* 2015), lo que afectará severamente a este sector vulnerable como lo es la agricultura.



**Figura 1.** Esquema representativo de la relación entre las plagas y enfermedades y los principales mecanismos que las afectan

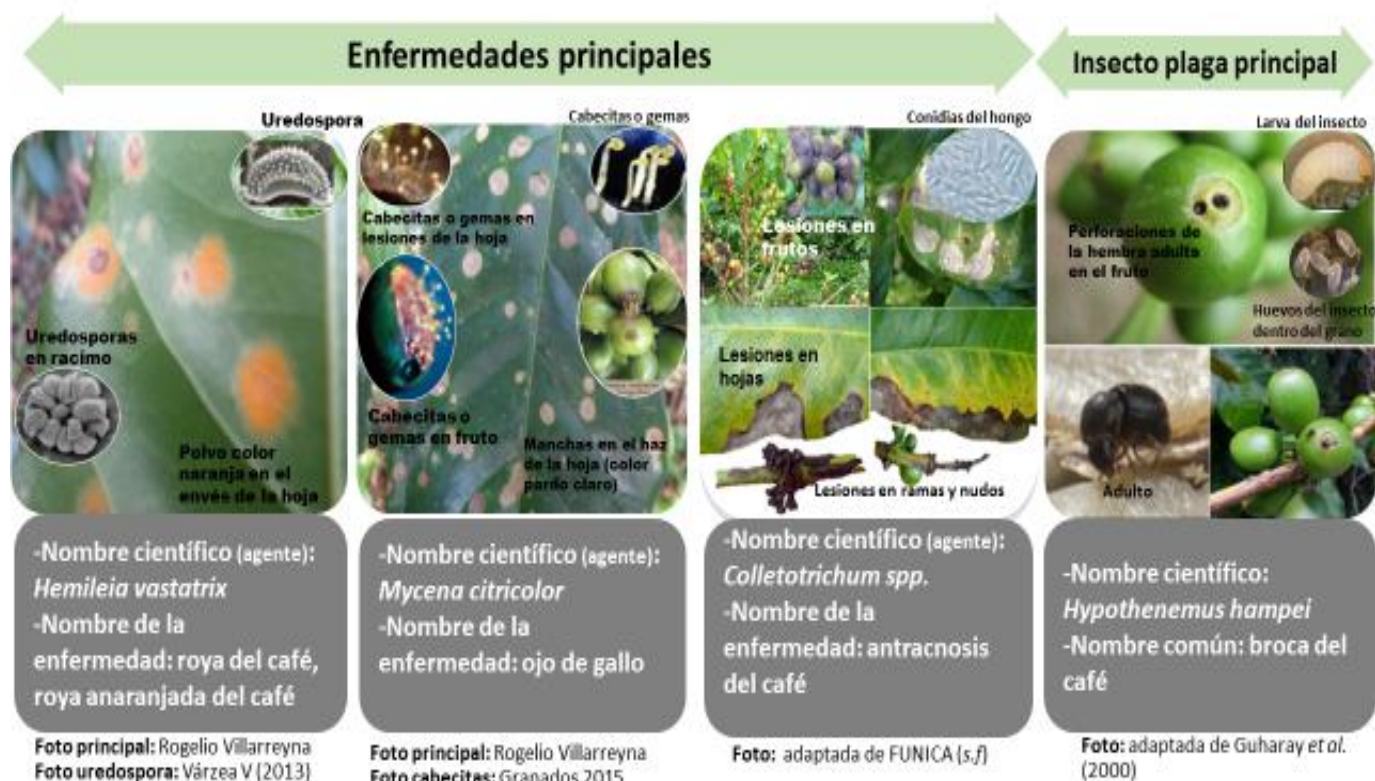
El café ocupa un lugar importante en la economía y en la sociedad de los países centroamericanos, lo cual es preocupante, porque al igual que todos los cultivos, el café será fuertemente afectado por las futuras condiciones climáticas. Estudios demuestran que el café es uno de los cultivos más sensibles a los cambios del clima y se prevé, para el año 2030, una disminución de las áreas aptas para este cultivo, sobre todo en la región centroamericana (Ovalle-Rivera *et al.* 2015; Bouroncle *et al.* 2014). Así mismo, se espera que con estos cambios del clima se incremente la posibilidad de que ocurran problemas de plagas y enfermedades (CEPAL 2009). Por ejemplo, según un estudio realizado en Brasil por Ghini *et al.* (2008), para el año 2050 se incrementarían significativamente los daños ocasionados por nematodos y minador de la hoja en el cultivo de café. Climas más calientes propician condiciones más favorables para la proliferación de insectos plagas. Estaciones de crecimiento más largas pueden permitir a varias especies de insectos plaga completar un mayor número de generaciones por año. Así mismo, los modelos predicen que las enfermedades también podrían alterar sus tasas de desarrollo y cambios en su distribución geográfica con consecuentes incrementos en las pérdidas en cosechas. Por ejemplo, alteraciones en los patrones del viento pueden cambiar la dispersión de bacterias y hongos y por tanto la diseminación de enfermedades foliares. De manera general, se espera que muchos patógenos incrementen su severidad en las próximas décadas (Rosenzweig y Hillel 1998).

Ante esta realidad y considerando la importancia del rubro café para los ingresos de muchas familias campesinas, se hace cada vez más indispensable la búsqueda de prácticas de adaptación para este sistema productivo. Los cafetales sombreados se presentan como una buena alternativa de adaptación, para amortiguar los efectos de eventos climáticos extremos y reducir los riesgos que enfrenta la caficultura del futuro. Entonces, conociendo la



importancia de los cafetales sombreados ante los eventos climáticos, es importante conocer también el efecto del microclima generado por la sombra sobre las principales plagas y enfermedades que afectan al café y sobre los enemigos naturales que afectan a las plagas y enfermedades. Otros aspectos importantes son de considerar como lo es la fenología y fisiología de los cafetos. Como contribución a esas necesidades, nos damos a la tarea de hacer una revisión de estudios que explican la relación entre la sombra y las plagas y enfermedades, con el fin de que sea puesto a disposición de técnicos y otros usuarios potenciales.

## 2. Plagas y enfermedades de mayor importancia en el cultivo del café



**Figura 2.** Principales enfermedades e insectos plagas en el cultivo de café: figura realizada con información de las fuentes, Avelino y Rivas (2013); Wang y Avelino (1999); Granados Montero (2015); Gil Vallejos (2001); Guharay et al. (2000).

Existe una diversidad de plagas insectiles y enfermedades que afectan al cultivo del café y que juegan un papel fundamental sobre la productividad y rentabilidad de las plantaciones. En las últimas décadas, en los cafetales centroamericanos y otras partes del mundo, la broca del café es la plaga insectil que ha recobrado mayor importancia (Mariño 2016; Bustillo 2006; Damon 2000; Guharay et al. 2000) y entre las enfermedades se destacan, la roya del café, ojo de gallo y antracnosis (Avelino y Rivas 2013, Guharay et al. 2000) (figura 2).

**La broca del café:** es un insecto del orden coleóptera, familia Scolytidae, del tamaño de la cabeza de un alfiler y muy similar al gorgojo, con coloración negra en su estado adulto (Guharay et al. 2000). Este insecto pone sus huevos dentro del fruto de café, de los cuales eclosionan larvas que se alimentan del endospermo del grano de café.

**La Roya del café:** por su parte, es una enfermedad causada por el hongo *Hemileia vastatrix*, de la familia *Chaconiaceae* y del orden Uredinales (Viera et al. 2012; Avelino y Rivas 2013). La enfermedad se presenta como pequeñas manchas de color amarillo en el haz de la hoja (parte superior). Estas manchas aumentan de tamaño gradualmente hasta producir una masa color naranja en el envés (parte inferior) de las hojas que provoca

pequeñas lesiones polvorientas. Estas lesiones polvorientas (color naranja) pueden llegar a provocar severas defoliaciones y muerte de ramas en las plantas de café (la roya provoca la defoliación de las ramas). Su principal forma de multiplicación es la uredospora (Avelino y Rivas 2013).

**El Ojo de gallo:** es una enfermedad causada por el hongo *Mycena citricolor*, este hongo se caracteriza por presentar dos cuerpos fructíferos: la gema o cabecita (asexual) y el basidiosporo (sexual). Las gemas o cabecitas son pequeñas estructuras de color amarillo en forma de alfiler, que le permiten al patógeno diseminarse (Wang y Avelino 1999; Rivillas 2006). El basidiocarpio, es más grande que la gema, produce y libera una gran cantidad de basidiosporas. Este estado es difícil de encontrar en condiciones de campo (Wang y Avelino 1999). La enfermedad se manifiesta en el haz y envés de las hojas de café, con manchas redondas y de color pardo claro (luminiscente). Luego sobre estas manchas se pueden observar tallitos con cabecitas (las gemas) en forma de alfiler. Cuando las lesiones son viejas, el tejido enfermo cae y se forman hoyos en las hojas. También, puede haber afectaciones de ramas y frutos. El ojo de gallo provoca defoliaciones y caída de frutos. (Wang y Avelino 1999).

**La antracnosis:** es una enfermedad causada por hongos del género *Colletotrichum spp.* Puede ser influenciada por diversos factores como, condiciones ambientales, estrés fisiológico, el ataque de otras plagas y enfermedades y suelo de mala calidad (FUNICA s.f). Esta enfermedad afecta hojas, ramas, flores y frutos y puede provocar defoliación y muerte regresiva de las ramas (die-back), lo que puede conllevar a la muerte de toda la planta o reducir significativamente su capacidad productiva. Su principal forma de reproducción son estructuras llamadas conidias (Gil 2001).

### 3. Efecto de la sombra sobre el microclima dentro del cafetal

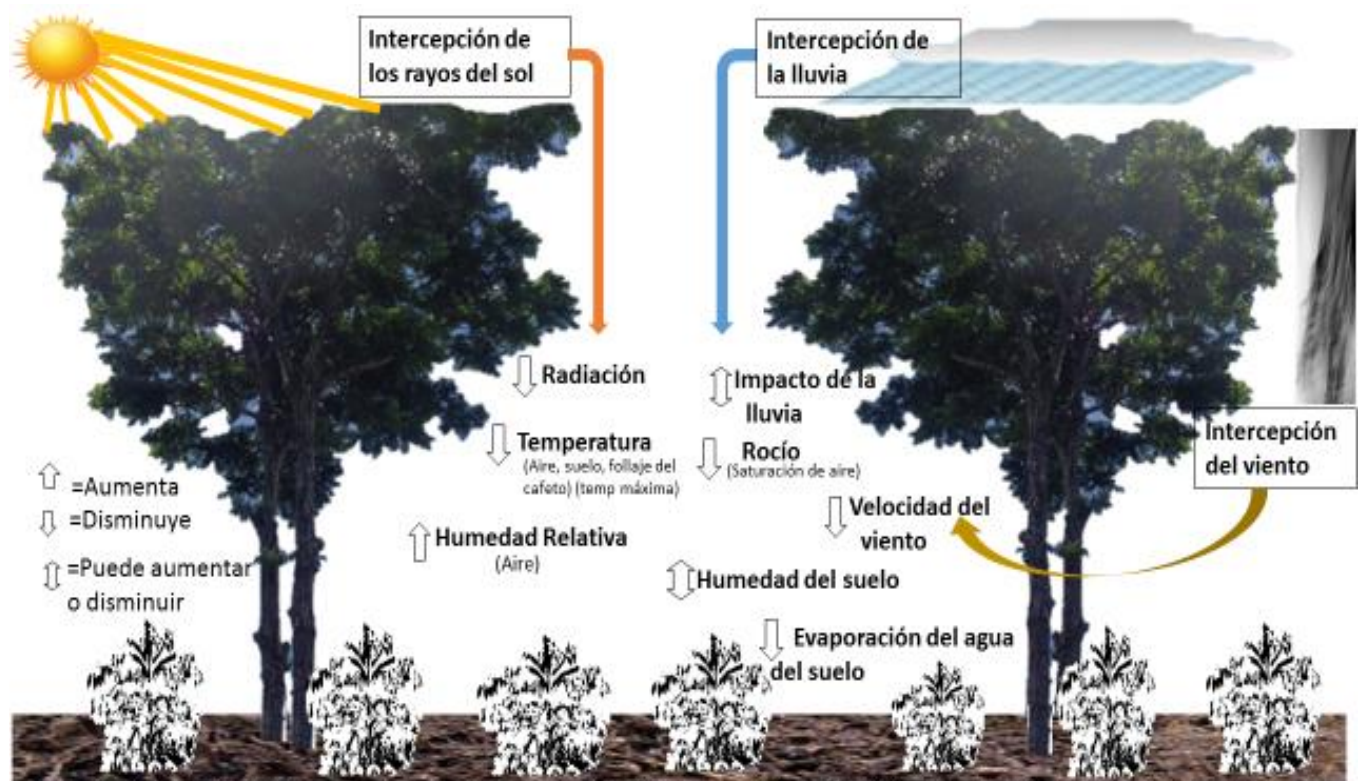


Figura 3. Efecto de la sombra sobre el microclima dentro del sistema de café. Figura elaborada con información de Avelino y Rivas (2013); Avelino et al. (2011); Lin (2010); Lin (2007), Beer et al. (1998)

El uso de árboles de sombra en los cafetales y su efecto sobre la modificación del clima dentro del sistema, es algo que se viene estudiando desde décadas atrás. Los cambios que ocurren bajo el dosel de sombra (microclima) son varios y se dan entre otras cosas sobre: la cantidad y calidad de luz que entra al sistema o que llega al cafeto, cambios en la temperatura del aire, del suelo y del área foliar (hojas del cafeto); cambios en la velocidad del viento, humedad del suelo, evaporación del agua del suelo (Cannavo et al. 2011; López-Bravo et al. (2012); IICA 1988; Lin 2007) y sobre el impacto de la lluvia bajo el dosel (Avelino y Rivas 2013, Thériez 2015) (figura 3). En este sentido la radiación solar que llega al cafeto se reduce considerablemente en dependencia de la densidad de sombra y el tipo de copa de los árboles utilizados (Beer et al. 1998; Siles et al. 2009; Lin 2007) (ver anexo 1a y 1b). Las temperaturas altas del aire (máximos de temperatura) (anexo 1a, 1c y 1d), de las hojas de los cafetos y del suelo, disminuyen dentro del sistema bajo sombra, lo mismo que el rocío; mientras la humedad del aire (humedad relativa) tiende a aumentar (Lin 2007; López-Bravo et al. 2012) (ver anexo 1a y 1c).

La humedad del suelo bajo sombra, en los primeros 120 cm es bastante similar al sistema a pleno sol, sin embargo, se reduce bajo sombra, a una profundidad mayor a los 120 cm (Padovan et al. 2015; Cannavo et al. 2011; Kanten y Vaast 2006). Esta disminución de la humedad se da principalmente si hay una competencia con los árboles de sombra por el agua, lo que depende a su vez, de las especies de árboles utilizados (Padovan et al. 2015) (ver anexo 2a y 2b). Por otro lado, la sombra contribuye a disminuir la evaporación del agua del suelo (Lin 2010) (ver anexo 3), lo cual se da posiblemente por la intercepción de la luz solar y el mantillo que se forma por la hojarasca que cae de los árboles (Rapidel et al. 2015). Esto permite a su vez que la sombra ayude a conservar la humedad por más tiempo (Fassbender 1987; Vis 1986)

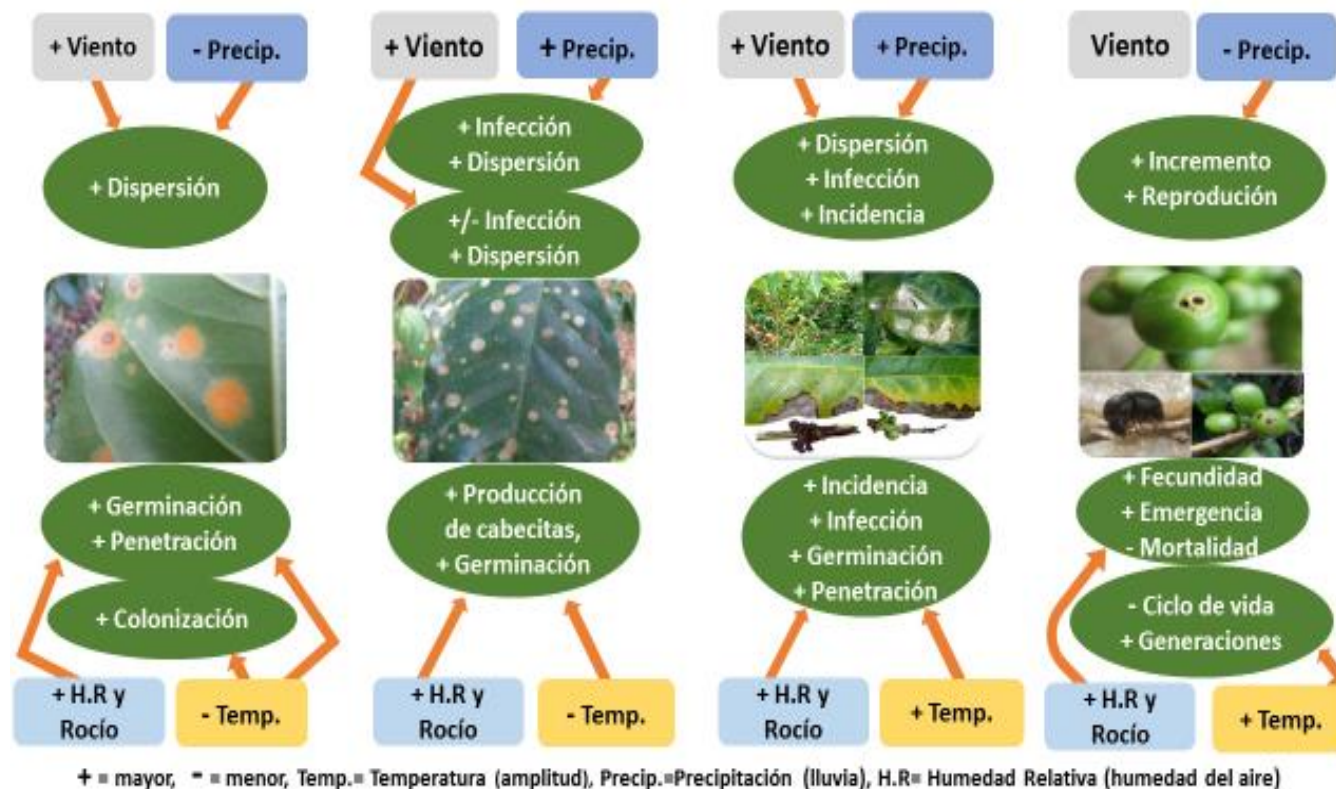
La velocidad del viento, contrario a la humedad relativa, se reduce debido a que es interceptada por los árboles (IICA 1988). Con respecto a la lluvia, el dosel de sombra la intercepta y puede disminuir su intensidad y el escurrimiento superficial bajo el dosel (Véliz-Chávez et al. 2012), especialmente en caso de pequeñas lluvias (< 5mm). Sin embargo, esto puede ser controversial, debido a que las hojas de los árboles acumulan el agua de la lluvia y forman gotas de mayor tamaño, las cuales, cuando rebalsan de la hoja (eso sucede cuando las lluvias son más abundantes, > 5mm), pueden provocar mayor impacto sobre las hojas de los cafetos. La energía cinética de las gotas (tamaño y velocidad) depende de la altura del dosel y especie de árboles (Avelino y Rivas 2013; Thériez 2015). En este sentido, *Cordia alliodora*, por ejemplo, aumenta la energía cinética de las gotas, en comparación con pleno sol (Cerdan et al. 2012; Thériez 2015). Otras especies de árboles como la *Inga edulis*, y la *Inga densiflora* por el contrario, tienden a disminuir la energía cinética de las gotas, debido posiblemente a su tipo de copa que intercepta más la lluvia y la distribuye a lo largo de las ramas y del tronco (Thériez 2015) (ver anexo 4).

La sombra tiene un efecto directo sobre la actividad fotosintética del cafeto, razón por la cual su uso ha sido bien justificado en zonas cálidas (IICA 1988). Al respecto, se conoce que la fotosíntesis tiende a ser mayor bajo sombra, en comparación con cafetales a pleno sol, lo cual, puede explicarse por el hecho de que las hojas están sujetas a foto-inhibición y a foto-respiración en condiciones de alta radiación (Chaves et al. 2008).



## 4. Efecto del microclima generado por la sombra sobre las plagas y enfermedades

### 4.1. Efecto de los factores climáticos sobre las plagas y enfermedades



**Figura 4.** Efecto del clima sobre las plagas y enfermedades. Figura realizada con información de las fuentes: Pico Rosado (2014); Avelino y Rivas (2013); Rívilas y Castro (2011); Ramírez Builes *et al.* (2010); Avelino *et al.* (2007); Bustillo (2006); Guharay *et al.* (2000); Damon (2000); Wang y Avelino (1999).

Considerando las 3 plagas y enfermedades de mayor importancia en el cultivo de café, en la región centroamericana, las cuales han sido descritas en el punto 1, hacemos un análisis breve sobre el efecto de algunos factores climáticos sobre éstas, como se muestra en la figura 4.

#### 4.1.1. La lluvia (precipitación)

La lluvia contribuye al transporte (dispersión) de las uredosporas de la roya a corta distancia. El agua libre también es necesaria para la germinación. Esto explica que la epidemia se desarrolle durante la época de lluvias y que detenga su crecimiento en época seca (Avelino y Rivas 2013). Con respecto al ojo de gallo, la lluvia favorece el desarrollo de la enfermedad (Avelino *et al.* 2007), por lo cual, una vez que las lluvias empiezan, el número de hojas enfermas y el número de lesiones por hoja aumentan rápidamente. Las cabecitas o gemas se desprenden por la acción de las gotas de lluvia y son transportadas por las mismas a hojas adyacentes (Wang y Avelino 1999). Una reducción en la precipitación puede provocar desaceleración en el progreso de la enfermedad e incluso un decremento (Avelino *et al.* 2007). Los períodos prolongados de precipitación, también se asocian con una alta incidencia de *Colletotrichum* spp. (antracnosis del café) en ramas, brotones, flores y frutos (Gil 2001). Las lluvias hacen que las conidias se desprendan del tejido enfermo y se diseminen a tejidos sanos de la planta (FUNUCA s.f). De igual manera, la distribución de las lluvias determinan los períodos de floración del café y los niveles de ataque de la broca: floraciones distribuidas incrementan la supervivencia de la broca; al revés floraciones agrupadas alargan el periodo sin frutos disponibles para la broca y disminuye su supervivencia. La lluvia es un estímulo para la emergencia de la broca de los frutos (Arcila *et al.* 1993). Aunque según Guharay *et al.* (2000), la

presencia de lluvias muy abundantes pueden provocar una alta mortalidad de hembras fecundadas, en el momento que éstas buscan frutos aptos para la reproducción.

#### 4.1.2. El viento

El viento favorece la dispersión en seco de las uredosporas de la roya (Avelino y Rivas 2013; Becker 1979), tanto así, que es considerado el principal responsable de la llegada de la roya a América en 1970 (Bowden *et al.* 1971). Con respecto al ojo de gallo, el viento juega un papel importante transportando las hojas enfermas desprendidas de los cafetos afectados (Rivillas y Castro 2011). Aunque Wellman (1950) no encontró relación entre el viento y la dispersión de las cabecitas o gemas, lo que se atribuye posiblemente al gran tamaño de éstas y a su fuerte adhesión a la hoja. El viento, sin embargo, contribuye a secar las hojas y a través de este efecto reduce las posibilidades de infección. El viento también puede servir como medio de diseminación del hongo *Colletotrichum* spp. causante de la antracnosis, aunque su importancia no es tan marcada como para el caso de la roya del café (FUNICA s.f). Para la broca, el viento no parece ser un factor de mucha importancia, aunque Dufour *et al.* (1999), consideran que el viento puede favorecer la dispersión de la broca más allá de los 200 a 300 m. Así mismo, Bustillo (2007), menciona que la broca se levanta lentamente en busca de corrientes de aire que la arrastren a otros sitios.

#### 4.1.3. La humedad relativa y el rocío

El agua libre es importante para la germinación de las uredosporas de la roya hasta la penetración de la hoja. Otras fuentes de agua libre como el rocío pueden facilitar la germinación de las uredosporas incluso en ausencia de lluvia (Avelino y Rivas 2013). El rocío también es favorable para el desarrollo del ojo de gallo, lo que explica, que en áreas cerca de zonas boscosas, la enfermedad continúe su desarrollo, aún en los meses más secos (febrero, marzo, abril y mayo) (Wang y Avelino 1999). La enfermedad se desarrolla sin problemas con una humedad relativa superior al 80% (Avelino *et al.* 1995; Granados 2015). La presencia de periodos secos en la época de lluvias puede, por lo contrario, interrumpir el crecimiento de la epidemia de ojo de gallo (Avelino *et al.* 2007). La antracnosis, al igual que las enfermedades antes mencionadas, también es favorecida por este factor climático. El rocío aumenta la humedad sobre el tejido, esto, acompañado de una alta humedad relativa y condiciones de alta temperatura (20-30°C) permite que las conidias del hongo germinen y penetren el tejido, ocasionando la infección. La broca por su parte sobrevive por más tiempo y tiene mejor fecundidad en condiciones de mayor humedad relativa del aire (Damon 2000; Baker *et al.* 1994). A bajas humedades ocurre alta mortalidad y la máxima fecundidad se ha encontrado a 90% de humedad relativa. Así mismo, la emergencia del adulto del grano se incrementa entre 90-100% de humedad relativa (Baker *et al.* 1994, Bustillos 2006)

#### 4.1.4. La temperatura

La germinación de las uredosporas de la roya, la formación del apresorio (una estructura que permite la penetración de las hifas a través del estoma) y la progresión del hongo en la hoja son muy dependientes de las condiciones de temperatura. Como resultado de estos efectos se tiene que el período de incubación (el periodo entre la germinación y la aparición de los primeros síntomas) se acorta cuando las temperaturas no son ni excesivas ni demasiado bajas. La germinación de las esporas se ve favorecida con temperaturas de 21-25°C. Una reducción en los extremos de temperatura será favorable en los procesos de germinación, penetración y colonización de la hoja (Avelino y Rivas 2013). La antracnosis al contrario de la roya, se ve favorecida con altas temperaturas. Este factor contribuye a incrementar sus poblaciones hasta niveles patogénicos (Gil 2001). Temperaturas entre 20 y 30°C son favorables para que sobre las lesiones se produzcan las conidias del hongo,



las que pueden iniciar un nuevo ciclo de la enfermedad (FUNICA s.f). Para el ojo de gallo la temperatura es también un factor de importancia. En un estudio realizado por Avelino *et al.* (2007) el hongo se vio favorecido en altitudes entre 1100-1550 msnm, donde las temperaturas eran frescas sin ser excesivamente bajas. Así mismo, se han observado buenos resultados, en cuanto al proceso de inoculación, con temperaturas de 20°C (Rao y Tewari 1989). Con respecto a la broca del café se menciona que mayores temperaturas pueden acortar su ciclo de vida, lo que puede permitir al insecto lograr un mayor número de generaciones. Así mismo, mayores temperaturas le permiten dispersarse con mayor facilidad (Guharay *et al.* 2000; Damon 2000; Bustillo 2006). La emergencia de la broca del fruto es muy baja a temperaturas inferiores a 20°C y se incrementa considerablemente a temperaturas de 20-25°C (Baker 1994; Jaramillo *et al.* 2010). Sánchez *et al.* (2013), mencionan también que la supervivencia de hembras colonizadoras disminuye considerablemente a temperaturas por encima de los 30°C, lo que fue encontrado también por Jaramillo *et al.* (2010).

#### 4.2. Efecto del microclima generado por la sombra sobre las plagas y enfermedades

##### 4.2.1. Efecto del microclima generado por la sombra sobre la roya del café

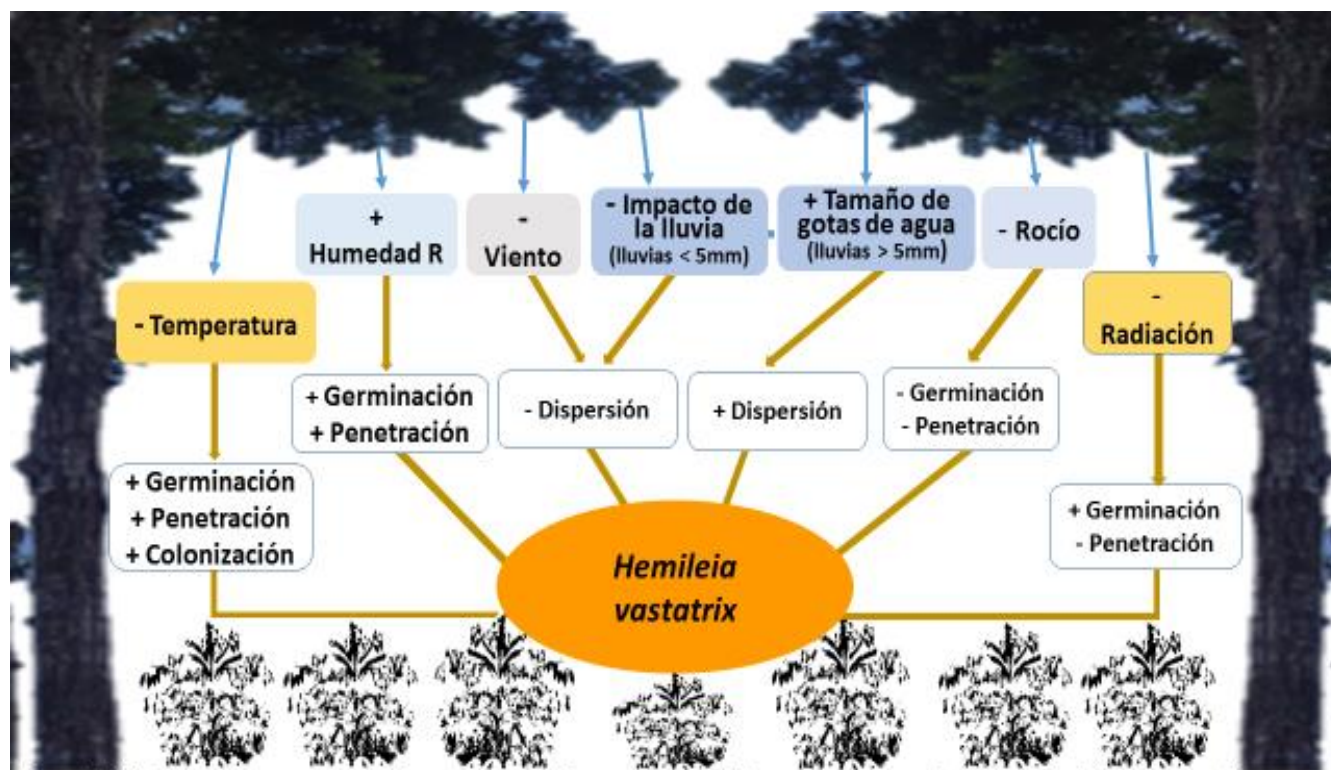


Figura 5. Efecto del clima que genera la sombra sobre la roya del café. Figura realizada con información de las fuentes: Pico Rosado (2014); Avelino y Rivas (2013); Guharay *et al.* (2000).

**Cuadro 1.** Efectos potenciales de la sombra sobre la roya anaranjada, a través del microclima, considerando los factores climáticos de mayor relevancia (explicación de la figura 5)

Factor climático	Proceso de la enfermedad afectado	Efecto potencial de la sombra sobre la enfermedad	Explicación
Temperatura	Germinación Penetración Colonización	+	La sombra regula las temperaturas. Particularmente, las temperaturas máximas de las hojas son más bajas que a pleno sol. Las temperaturas se mantienen más cerca del óptimo para la roya anaranjada.
Humedad relativa	Germinación Penetración	+	La sombra conserva el agua libre procedente de las lluvias en la plantación, lo cual es favorable para <i>Hemileia vastatrix</i> .
Viento	Dispersión	-	La sombra intercepta el viento y disminuye la dispersión en seco de las uredosporas de la roya.
Precipitación	Dispersión	+/-	La sombra intercepta las gotas de agua. Cuando la lluvia es poco abundante, el agua no llega al café y no se da la dispersión. Cuando las lluvias son abundantes (superior a 5mm), la sombra canaliza el agua, forma gotas gordas con un impacto sobre el café más fuerte (depende de la altura de la sombra).
Rocío	Germinación Penetración	-	Bajo sombra no hay rocío, única fuente de agua libre en días sin lluvia.
Radiación	Germinación	+	La sombra intercepta la radiación y facilita la germinación.
	Penetración	-	La sombra intercepta la radiación y disminuye la receptividad de las hojas del café.

Fuente: Avelino y Rivas (2013)

#### 4.2.2. Efecto del microclima generado por la sombra sobre el ojo de gallo del café

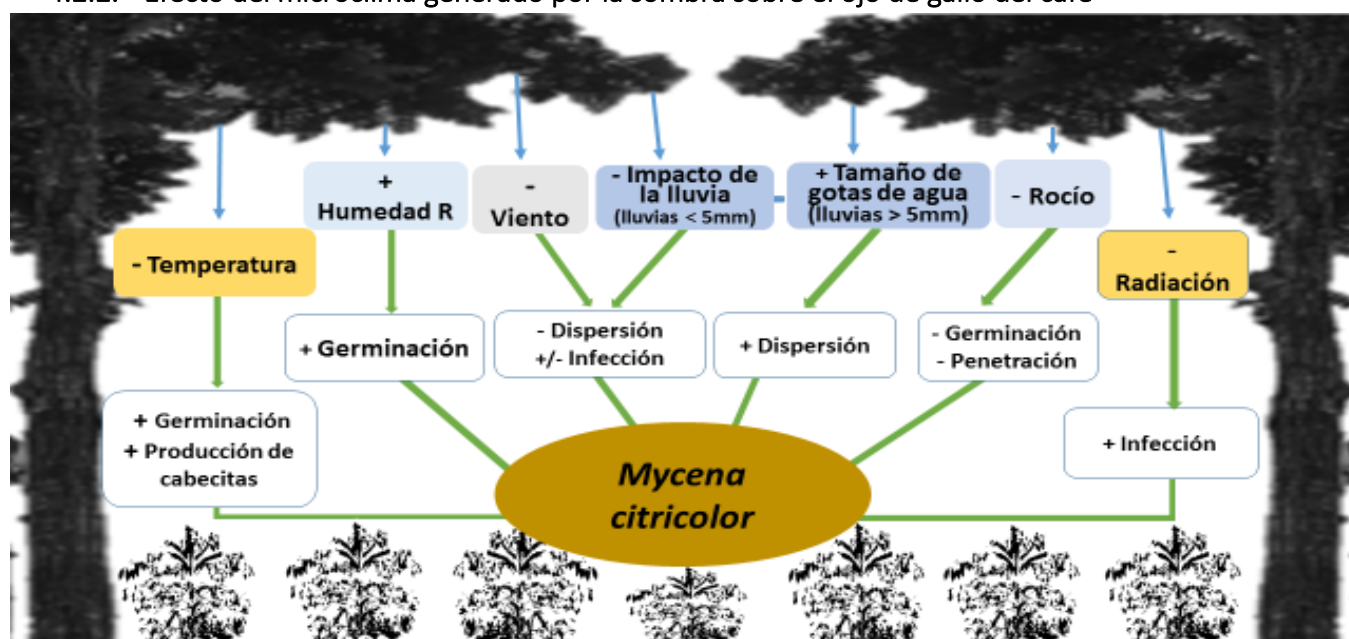


Figura 6. Efecto del microclima generado por la sombra sobre el ojo de gallo del café. Figura realizada con información de las fuentes: Rapidel *et al.* (2015); Avelino y Rivas (2013); Wang y Avelino (1999); Avelino *et al.* (2007); Rivillas y Castro (2011); Wellman (1950).

**Cuadro 2.** Efectos potenciales de la sombra sobre el ojo de gallo del café, a través del microclima, considerando los factores climáticos de mayor relevancia (explicación de la figura 6).

Factor climático	Proceso de la enfermedad afectado	Efecto potencial de la sombra sobre la enfermedad	Explicación
Temperatura	Germinación Producción de cabecitas	+	La sombra regula las temperaturas. Particularmente, las temperaturas máximas de las hojas son más bajas que a pleno sol (1). <i>M. citricolor</i> , prospera mejor bajo temperaturas relativamente bajas (2), lo que puede contribuir a acortar su periodo de latencia (3)
Humedad relativa	Germinación Penetración Dispersión	+	La sombra conserva el agua libre procedente de las lluvias en la plantación (1); esto es favorable para la germinación y penetración de <i>M. citricolor</i> . Así mismo, cuando el pedicelo se humedece permite el desprendimiento de la cabecita favoreciendo la dispersión a muy corta distancia (5).
Viento	Dispersión	-	La sombra intercepta el viento y disminuye el transporte de hojas enfermas que caen de cafetos afectados (2). El viento seca las hojas y reduce posibilidades de infección.
Precipitación	Dispersión	+/-	La sombra intercepta las gotas de agua (1). Cuando la lluvia es poco abundante, el agua no llega al café y no se da la dispersión. Cuando las lluvias son abundantes, la sombra canaliza el agua, forma gotas gordas con un impacto sobre el café más fuerte (1). Estas gotas gordas pueden provocar el desprendimiento de las cabecitas y transportarla a hojas adyacentes (4). La presencia de lluvias favorece la enfermedad.
Rocío	Germinación Penetración	-	Bajo sombra no hay rocío, única fuente de agua libre en días sin lluvia (1). Este efecto de la sombra es desfavorable para los procesos mencionados, en los tiempos sin lluvia.
Radiación	Germinación  Penetración	+	La sombra intercepta la radiación, permitiendo que la humedad dure más tiempo en las hojas, lo que favorece los procesos de germinación y penetración de <i>M. citricolor</i> y por tanto la tasa de éxito de la infección (5).

Fuentes: 1 (Avelino y Rivas 2013), 2 (Rivillas y Castro 2011), 3 (Avelino *et al.* 2007), 4 (Wang y Avelino 1999), 5 (Wellman 1950).

#### 4.2.3. Efecto del microclima generado por la sombra sobre la antracnosis del café

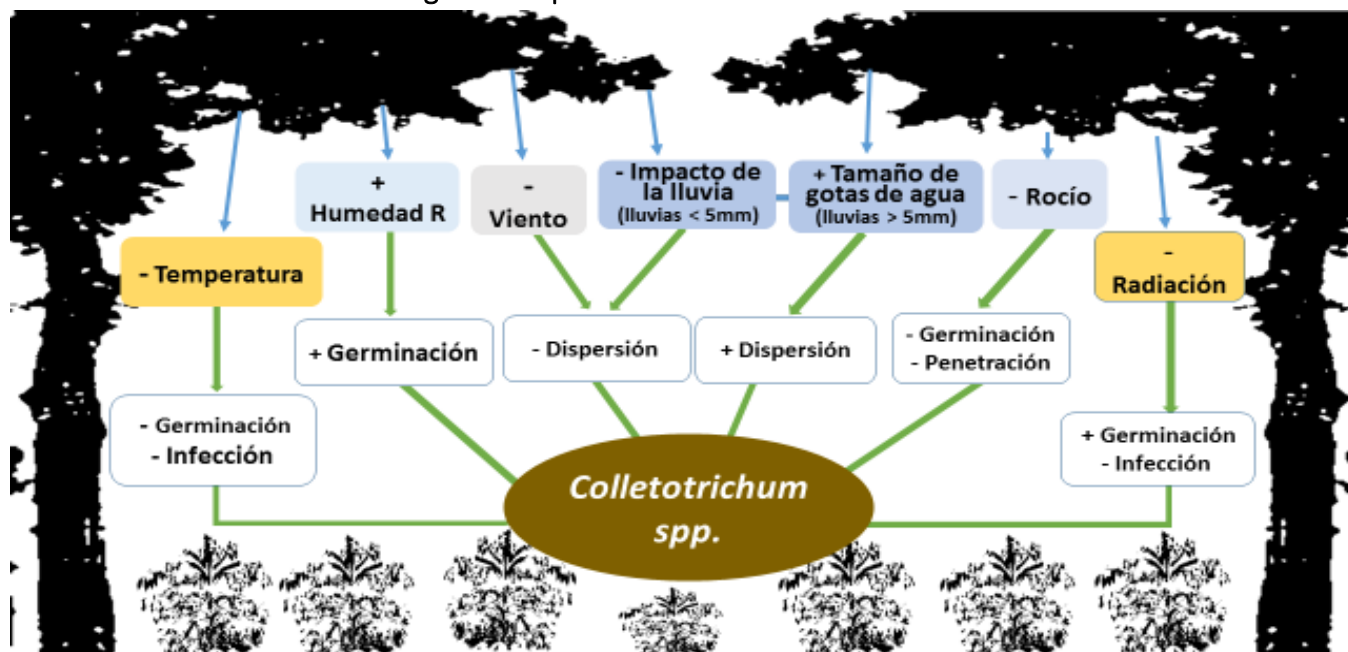


Figura 7. Efecto del microclima generado por la sombra, sobre la antracnosis del café. Figura realizada con información de las siguientes fuentes: Rapidel *et al.* (2015); Avelino y Rivas (2013); Ramírez Builes *et al.* (2010), Muller *et al.* (1999, FUNICA (s.f), Gil (2001); Wellman (1950).

**Cuadro 3.** Efectos potenciales de la sombra sobre la antracnosis del café, a través del microclima, considerando los factores climáticos de mayor relevancia (Explicación de la figura 7).

Factor climático	Proceso de la enfermedad afectado	Efecto potencial de la sombra sobre la enfermedad	Explicación
Temperatura	Germinación Penetración Colonización	-	La sombra regula las temperaturas. Particularmente, las temperaturas máximas de las hojas son más bajas que a pleno sol (1). Este cambio ejercido por la sombra no es favorable para <i>Colletotrichum spp.</i> que prefiere temperaturas altas para cumplir los procesos mencionados (3).
Humedad R	Germinación Penetración	+	La sombra conserva el agua libre procedente de las lluvias en la plantación por más tiempo (1). El hongo se ve favorecido por una alta humedad relativa (3).
Viento	Dispersión	-	La sombra intercepta el viento y disminuye su velocidad, lo que permite una menor dispersión de las conidias de <i>Colletotrichum spp.</i> La reducción en la velocidad del viento protege a las hojas de los cafetos contra daños mecánicos, reduciendo la entrada de hongos oportunistas (2). <i>Colletotrichum spp.</i> es un hongo que aprovecha las lesiones ocasionadas por disturbios fisiológicos o daños por otros hongos fitoparásitos (3)
Precipitación	Dispersión	+/-	La sombra intercepta las gotas de agua. Cuando la lluvia es poco abundante, el agua no llega al café (1), en este caso no habría dispersión de conidias. Cuando las lluvias son abundantes, la sombra canaliza el agua, forma gotas gordas con un impacto sobre el café más fuerte. Estas gotas pueden provocar que las conidias se desprendan del tejido enfermo y se diseminen hacia tejido sano de la hoja, ramas y frutos (5)
Rocío	Germinación Penetración	-	Bajo sombra no hay rocío, única fuente de agua libre en días sin lluvia (1). Por lo tanto esto es desfavorable para el hongo, que necesita agua líquida para cumplir los procesos citados, en días sin lluvia (6).
Radiación	Germinación  Infección	+  -	La sombra intercepta la radiación, permitiendo que la humedad dure más tiempo en las hojas (4), lo cual es favorable para la germinación del hongo durante la época lluviosa. Las radiaciones extremas debilitan o estresan la planta lo que la hace más propensa a ataques de antracnosis.

**Fuentes:** 1 (Avelino y Rivas 2013), 2 (Rapidel *et al.* 2015) 3 (Gil 2001), 4 (Wellman 1950), 5 (FUNICA s.f), 6 (Müller *et al.* 1999).



#### 4.2.4. Efecto del microclima generado por la sombra sobre la broca del café

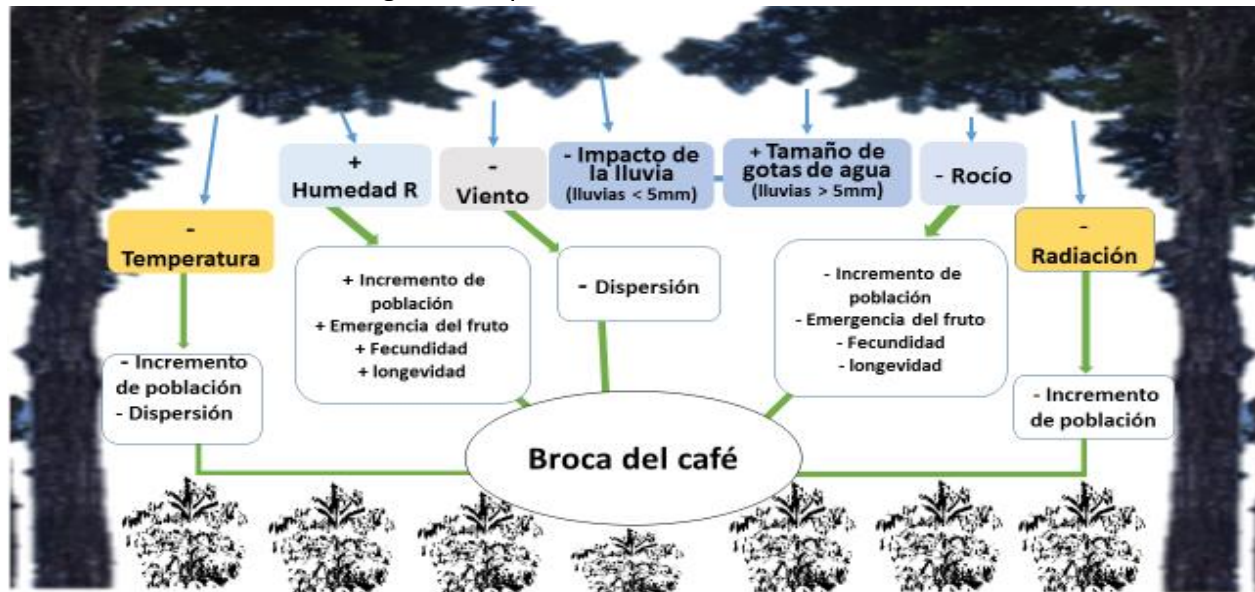


Figura 8. Efecto del microclima generado por la sombra, sobre la broca del café. Figura realizada con información de las fuentes: Sánchez *et al.* (2013) Romero Gudián (2012); Ramírez Builes *et al.* (2010); Bustillo (2006); Guharay *et al.* (2000); Baker *et al.* (1994); Arcila *et al.* 1993.

**Cuadro 4.** Efectos potenciales de la sombra sobre la broca del café, a través del microclima, considerando los factores climáticos de mayor relevancia.

Factor climático	Proceso del insecto afectado	Efecto potencial de la sombra sobre la plaga	Explicación
Temperatura	Incremento poblaciones  Dispersión	-	La sombra regula las temperaturas bajo el dosel (las temperaturas máximas son más bajas). Este cambio no es favorable para el insecto que se ve favorecido con temperaturas altas. Las temperaturas altas conllevan a un ciclo de vida más corto del insecto, lo que significa un mayor número de generaciones (3 y 4).
Humedad relativa	Emergencia del fruto (adulto) Longevidad Fecundidad	+	La sombra conserva el agua libre procedente de las lluvias en la plantación (1) y mantiene mayores porcentajes de humedad relativa (7). Esto es favorable para la broca, ya que aumenta su longevidad y fecundidad, y la emergencia del grano del insecto adulto (2 y 5); esto también evita la deshidratación rápida de los frutos abandonados después de cosecha y favorece la supervivencia de la broca.
Viento	Dispersión	-	La sombra intercepta el viento y disminuye su velocidad. Considerando que el viento tuviese algún efecto sobre la dispersión del insecto (6 y 9), la sombra sería desfavorable para este factor (menor dispersión).
Precipitación			No hay mención sobre algún efecto de la sombra favorable o desfavorable sobre la broca, con respecto a las lluvias.
Rocío	Emergencia del fruto Longevidad Fecundidad	-	Bajo sombra no hay rocío, única fuente de agua libre en días sin lluvia (1). Esto puede ser perjudicial para la broca en periodos sin lluvia, considerando la importancia de la humedad sobre los procesos mencionados, aunque no se menciona claramente en la literatura.
Radiación	Incremento de poblaciones Desarrollo del insecto	+/-	La sombra intercepta la radiación solar. Esto puede favorecer y desfavorecer a la broca. Aunque se han encontrado mayores niveles de infección bajo sombra, también se ha encontrado que la reproducción es mayor a pleno sol, por lo cual hay mayor incremento de población (8) (ver anexo 8).

**Fuentes:** 1 (Avelino y Rivas 2013), 2 (Baker *et al.* 1994), 3 (Guharay *et al.* 2000), 4 (Arcila *et al.* 1993), 5 (Bustillo 2006), 6 (Duflour *et al.* 1999), 7 (Sánchez *et al.* 2013), 8 (Mariño *et al.* 2016), 9 (Bustillo 2007).

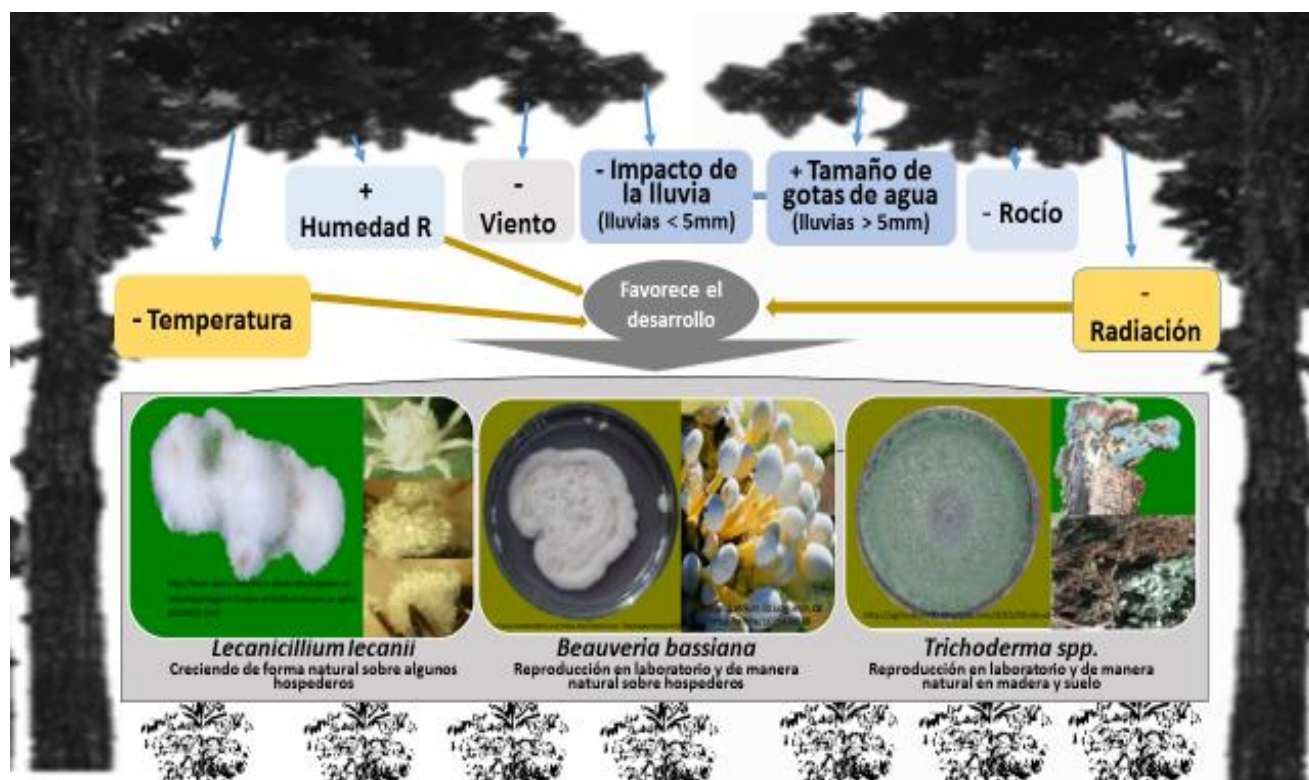
## 5. Enemigos naturales de las principales plagas y enfermedades del café



**Figura 9.** Control realizado por enemigos naturales y controladores biológicos sobre las principales plagas y enfermedades. Figura realizada con información de las fuentes: Pico roasado (2014); Granados Montero (2015); Sanchez et al. (2012); Jackson et al. (2012); Avelino y Rivas (2013); Rivillas y Castro (2011)

Los enemigos naturales de plagas y enfermedades constituyen un componente principal del control natural. Estos pueden definirse como la acción de depredadores, parasitoides y patógenos en la regulación de las poblaciones de una especie a niveles más bajos de los que ocurriría sin su presencia. Existe una diversidad de enemigos naturales de las principales plagas y enfermedades que afectan al café, los cuales pueden variar de acuerdo a cada contexto (Guharay et al. 2000). En esta revisión nos enfocaremos en el eficiente trabajo de tres hongos entomopatógenos y antagonistas de hongos patógenos o de plagas: *Lecanicillium lecanii*, *Beauveria bassiana*, *Trichoderma spp.* (figura 9). ***Lecanicillium lecanii***, es un hongo entomopatógeno (afecta especialmente las escamas) y también hiperparásito de otros hongos y se encuentra de manera natural en el campo. Este hongo ha recobrado importancia en los últimos años por su eficiente trabajo como controlador biológico de *Hemileia vastatrix*, lo cual lo convierte en otra opción de control de la roya del café (Jackson et al. 2012). ***Beauveria bassiana***, es también un hongo entomopatógeno, que crece de manera natural en los suelos de todo el mundo. Este hongo se ha destacado por su eficiente trabajo como controlador biológico de una gran variedad de insectos plagas, incluyendo la broca del café. En Centroamérica y otros países, el hongo ha sido aislado, reproducido de forma masiva, formulado y aplicado en las plantaciones de café (Guharay et al. 2000). ***Trichoderma spp.***, por su parte, es un hongo que crece también de manera natural en el suelo y madera en descomposición. Se ha evaluado su efecto como controlador biológico de *Mycena citricolor*, con resultados positivos tanto in vitro como en campo, reflejando su capacidad de establecerse dentro del tejido necrótico de la lesión y su acción parasítica sobre micelios y geminíferos de *M. citricolor* (Ojeda y Suéscum 2012). Se realizan aplicaciones foliares de formulados a base del hongo, sobre los cafetos, para el control biológico del ojo de gallo.

### 5.1. Efecto del microclima creado por la sombra sobre enemigos naturales de plagas y enfermedades del café



**Figura 10.** Efecto del microclima generado por la sombra, sobre enemigos naturales y controladores biológicos de las principales plagas y enfermedades. Figura realizada con información de las fuentes: Staver *et al.* (2001);

El microclima creado por la sombra en el cafetal parece ser favorable para una gran mayoría de los agentes de biocontrol, como *Beauveria bassiana*, para el control de la broca, o *Lecanicillium lecanii*, para el control del hongo responsable de la roya del café. Estos agentes pueden encontrar en los sistemas agroforestales condiciones microclimáticas más favorables: la humedad es más alta y los rayos ultravioletas son en parte interceptados por la sombra (Staver *et al.* 2001) (ver anexo 6a). Al respecto, Sánchez *et al.* (2013) encontraron que en sistemas con aplicaciones de *Beauveria bassiana* bajo sombra densa, se redujo el número de granos brocados, en comparación con sombra moderada, a pesar de que la sombra densa tiende a favorecer la broca por el aumento de la humedad (ver figura 6b). Esta reducción en número de granos brocados fue atribuida a la actividad del hongo entomopatógeno. Así mismo, Pico Rosado (2014), pudo evidenciar que la sombra favorece el desarrollo de *Lecanicillium lecanii* y su efecto regulador de la roya del café, a través de observaciones realizadas en parcelas bajo sombra media y sin aplicaciones de fungicida. En este estudio, la mayor actividad controladora de *Lecanicillium lecanii* sobre la roya, se dio en la segunda parte de la época lluviosa (ver anexos 6c).



## 5.2. Efecto del microclima generado por la sombra sobre la fisiología y fenología del café



**Figura 11.** Efecto del microclima generado por la sombra sobre la fisiología y fenología del cafetal. Figura realizada con información de las fuentes: Theriez (2015); López *et al.* (2012); IICA (1988); Lin (2010); Siles *et al.* (2009), Fassbender (1987); (Vis 1986); Lundgren (1979); Boyer (1968). Fotos: Rogelio Villarreyna

## 5.3. Efecto del microclima generado por la sombra sobre el desarrollo de los cafetos, floración y fructificación

La sombra puede afectar la fenología de los cafetos en aspectos como, el crecimiento o desarrollo, la floración y la fructificación.

**Referente al crecimiento**, la sombra puede provocar cambios en la morfología foliar, como el aumento del área individual de las hojas, reducción del espesor de las hojas, menor número de estomas por cm<sup>2</sup>, la relación parte aérea/raíz tiende a ser mayor, reducción en el área basal de las plantas y por último, la velocidad a la que las hojas se renuevan tiende a ser menor en comparación con pleno sol (IICA 1988; López-Bravo *et al.* 2012; Siles *et al.* 2010; Estivariz 1997). Los cafetales bajo sombra mantienen sus hojas durante el verano y comienzan el proceso de revestimiento con el inicio de las lluvias, mientras que los cafetales a pleno sol, pierden rápidamente sus hojas en el verano y comienzan el proceso de revestimiento aún antes de las lluvias (Guharay *et al.* 2000).

**En cuanto a la floración**, la sombra evita la quema directa por luz solar de los botones florales y al evitar este efecto puede aumentar el cuaje de los mismos (IICA 1988). Lo anterior explica que Estivariz (1997), haya encontrado una mayor eficiencia de conversión de flor a fruto (1.6)<sup>1</sup>, en café con mayor porcentaje de sombra de *Erythrina sp.* (40-60%), versus 1.8<sup>2</sup> para café con menos de 20% de sombra de la misma especie. Sin embargo bajo sol es mayor el número de flores que brotan, en comparación con el sistema sombreado (IICA 1988). En este sentido, realizar podas de sombra hasta el inicio de las lluvias (Mayo, Junio), es favorable para conservar la floración (mayor cuaje) e incrementar la producción, en vez de realizarla en los meses de enero y febrero, cuando la planta quedaría expuesta a fuerte estrés por el sol, en los meses más calientes y secos (Guerra 1976). Por otro

<sup>1</sup> Por cada 16 flores, 10 se convirtieron en fruto

<sup>2</sup> Por cada 18 flores, 10 se convirtieron en fruto



lado, la sombra ayuda a evitar floraciones dispersas, es decir, que puede atrasar las floraciones<sup>3</sup> y concentrarlas en un mayor porcentaje en la floración principal, mientras que a pleno sol puede haber tendencia a adelantarse la floración (Angrand *et al.* 2004) (Ver anexo 9).

**En cuanto a la fructificación**, en comparación con el cafeto a pleno sol, se reporta un desarrollo más lento bajo sombra, con una maduración más tardía y más pareja (IICA 1988). Los estudios también demuestran un claro efecto de la sombra sobre la reducción de la carga fructífera (DaMatta y Rodríguez 2007; Avelino y Rivas 2013). Estivariz (1997) encontró que la producción potencial de frutos por cafeto, fue un 41% más baja en sombra (*Erythrina sp.*) con porcentaje de 40-60% (1091 frutos por planta), que en sombra menor al 20% (1838 frutos). Algo parecido encontró Siles *et al.* (2010), con reducciones del rendimiento bajo sombra (*Inga sp.*) de 38% (ver anexo 7a). Sin embargo, bajo sombra se obtienen mayores porcentajes de frutos de buen tamaño y calidad para la exportación, además de frutos más sanos, libres de daños de sol (Boyer 1968).

#### **5.4. Efecto del microclima generado por la sombra sobre las malezas**

La sombra permite una reducción de las malas hierbas, lo cual obedece a la menor cantidad de luz que llega al suelo y al mulch que se produce, producto de la caída natural de las hojas y de la poda de los árboles (Siles *et al.* 2009; Thériez 2015). En las condiciones de Turrialba, Costa Rica, donde la temperatura y la humedad alta favorecen el desarrollo de las malezas en los cafetales, la sombra de árboles altos (más del 50% de sombra) suprimió totalmente gramíneas agresivas y redujo fuertemente las malezas de hoja ancha (menos del 5%), comparado con un 80% de malezas a pleno sol (Muschler 1999) (ver anexo 5c). Así mismo, Cabon (2015), encontró diferencia muy significativa en cuanto a un mayor número de malezas en cafetales a pleno sol, comparado con cafetales sombreados con *Erythrina poeppigiana*. Este control que ejerce la sombra sobre las malezas puede reducir los costos en mano de obra hasta en un 30% (IICA 1988).

#### **5.5. Efecto del clima generado por la sombra sobre la materia orgánica y humedad del suelo**

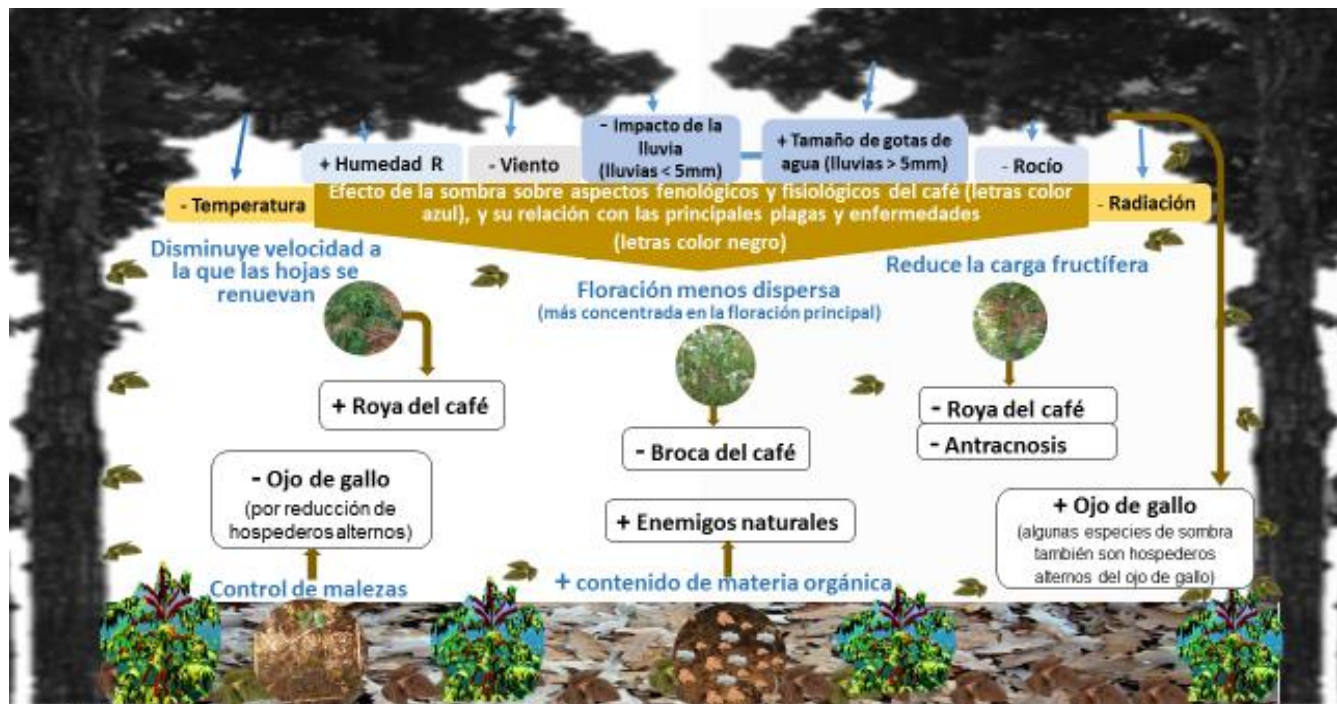
Los árboles de sombra también proveen materia orgánica, nutrientes y ayudan a conservar el suelo (Guharay *et al.* 2000). Así mismo, contribuyen al reciclaje de esa materia orgánica que proveen. En este sentido, la sombra puede ofrecer la posibilidad de reciclar tanto nutrimentos que están profundos, fuera del alcance del cultivo, como de aprovecharlos de manera superficial evitando su lixiviación (Lundgren 1979; Cannell *et al.* 1996). Cabon (2015) y Thériez (2015), encontraron que cafetales sombreados con *Erythrina poeppigiana*, conservan de manera significativa una mayor cantidad de hojarasca y ramas en el suelo, en comparación con un cafetal a pleno sol (ver anexo 5b). Así mismo, Muschler (1999), menciona una cantidad de 12 toneladas de hojarasca por año en cafetales sombreados versus 8 toneladas por año en cafetales sin árboles. Además, el contenido de carbono en el suelo puede aumentar, conforme aumenta el nivel de sombra, así como su capacidad de retener nutrientes (capacidad de intercambio catiónico) (ver anexo 5a). Por último, es importante destacar que la abundante hojarasca o mantillo que proporcionan los árboles de sombra, también ayuda a proteger al suelo del impacto de las gotas de agua y facilita la penetración del agua (Guharay *et al.* 2000). Así mismo, ayuda también a conservar su humedad (del suelo) por más tiempo, en comparación con el cafetal a pleno sol (Fassbender 1987; Vis 1986). Sin embargo el efecto de la sombra sobre la humedad del suelo es compleja (Rapidel *et al.* 2015). La transpiración, de manera general es mayor en café con árboles (Van Kanten y Vaast 2006; Padovan *et al.* 2015); los árboles transpiran más agua de la que la sombra permite ahorrar en los cafetos (Van Kanten y Vaast 2006). Al respecto Cannavo *et al.* (2011), encontraron un comportamiento de la humedad similar en ambos sistemas

---

<sup>3</sup> Floraciones que se dan antes de la principal

(sol y sombra), hasta una profundidad de 120 cm. Luego de los 120 cm y hasta los 150cm, la disminución de la humedad fue más pronunciada en el cafetal sombreado (ver anexo 2b); algo similar encontraron Siles *et al.* (2009). Por otro lado, Padovan *et al.* (2015) mencionan que la sombra puede reducir la humedad del suelo, si los árboles compiten por el agua, lo que puede depender de la especie arbórea y del tipo de suelo (ver anexo 2a). Por otro lado, Lin (2010) encontró que la sombra reduce la evaporación del agua del suelo (ver anexo 3)

## 6. Efecto de algunos aspectos fenológicos y fisiológicos del café sobre las principales plagas y enfermedades que lo afectan, enemigos naturales y su relación con la sombra



**Figura 12.** Efecto del microclima generado por la sombra sobre la fisiología y fenología del cafetal. Figura realizada con información de las fuentes: Rapidel *et al.* (2015); Granados (2015); Avelino y Rivas (2013); López *et al.* (2012); Avelino *et al.* (2004); DaMatta (2004); Guharay *et al.* (2000); Angrand *et al.* (2004).

### 6.1. Efecto de la carga fructífera sobre las enfermedades y su relación con la sombra

A través de estudios realizados se sabe que la roya del café afecta mucho más a las plantas con alta productividad (Avelino *et al.* 2004; Avelino *et al.* 2006, López-Bravo *et al.* 2012). La sombra, a través de su efecto regulador de la carga fructífera ayuda a disminuir la incidencia y severidad de la roya del café, en comparación con pleno sol, donde la carga fructífera es mayor (DaMatta 2004). Sin embargo en condiciones de igual carga fructífera en ambos sistemas (sol y sombra) puede haber más infección de roya bajo sombra (López-Bravo *et al.* 2012), seguramente por algunas condiciones microclimáticas favorables para el hongo, como disminución de la radiación solar y extremos de temperatura, y aumento del tiempo de mojadura de la hoja (ver anexo 7b). También se menciona que este efecto de regular la carga fructífera, ayuda a eliminar casi totalmente la antracnosis (muerte descendente de las ramas) (Rapidel *et al.* 2015).

### 6.2. Efecto del desarrollo de las hojas sobre las enfermedades y su relación con la sombra

La sombra disminuye la velocidad a la que las hojas se renuevan (Pico Rosado 2014; López-Bravo *et al.* 2012; IICA 1988), esto le puede dar cierta desventaja, ante un ataque severo de roya y de las demás enfermedades que

afectan a las hojas (López-Bravo et al. 2012). Por lo contrario, el hecho de que las hojas se renueven más rápido a pleno sol puede conducir a una dilución (la incorporación de hojas sanas al sistema es más acelerado que el crecimiento de la enfermedad) de la roya en este sistema (pleno sol) (Kushalapa y Ludwin 1982). Esto fue justamente lo que encontró López-Bravo et al. (2012), hubo mayor crecimiento del hospedero a pleno sol, lo que condujo a una mayor dilución de la roya que bajo sombra, esto, en condiciones no limitantes de lluvia. Por otro lado, el hecho de que la sombra ayude a evitar la defoliación de los cafetos durante el verano, puede contribuir a la sobrevivencia del inóculo residual de la roya (Avelino y Rivas 2013). Sin embargo, en condiciones de estrés térmico o hídrico, la defoliación podría ser más severa y el impacto de la roya mayor a pleno sol que bajo sombra (Avelino et al., 2015).

### **6.3. Efecto de hospederos alternos de enfermedades y su relación con la sombra**

La sombra por su efecto regulador de las malezas contribuye a reducir las fuentes de hospedero de *Mycena citricolor*. Se conoce que *M. citricolor* puede atacar alrededor de 219 hospederos alternos en 80 familias de plantas, principalmente de las familias Rubiaceae, Asteraceae, Solanaceae y Leguminosae o Fabaceae. Estos hospederos le permiten al hongo sobrevivir sin la presencia de café (Granados 2015). El efecto de la sombra sobre las malezas por lo tanto, es beneficioso ante el control de esta enfermedad, además de que reduce costos de mantenimiento del cafetal. Sin embargo, es importante destacar que algunas especies arbóreas utilizadas como sombra de cafetos, pueden servir también de hospederos para el hongo, lo que puede favorecer la afectación de ojo de gallo en el café, ante lo cual, es importante el manejo de la sombra. Entre las especies arbóreas hospederas de ojo de gallo sobresalen, las *Ingas* (guabas) (Pacheco 2012) y *Erythrina* (poró) (Carvajal 1939, Granados 2015), ambos géneros de la familia Fabaceae (antes Leguminosae), con uso importante como sombra de cafetos. Además, algunos árboles frutales como *Citrus sinensis* (naranja dulce) (Sequeira 1958), *Mangifera Indica* (mango) (Carvajal 1939), *Theobroma cacao* (cacao), *Annona cherimola* (anona), *Persea americana* (aguacate), *Musa L.* (banano) (Granados 2015), entre otros.

### **6.4. Efecto del tiempo de floración de los cafetos sobre la incidencia de broca del café y su relación con la sombra**

Estudios realizados han encontrado que la ocurrencia de un mayor número de floraciones (floraciones locas) antes de la principal (floración de la cosecha principal), puede conducir a una alimentación constante para la broca del café, dado que las etapas reproductivas y productivas ocurren al mismo tiempo, en los primeros meses del año (Guharay et al. 2000). En este sentido, el efecto de la sombra de ayudar a evitar floraciones dispersas, concentrando un mayor porcentaje en la floración principal (Angrand et al. 2004), puede contribuir en cierta medida a limitar las posibilidades de reproducción para la broca, ya que se logran amplios periodos sin frutos, en las plantaciones (Guharay et al. 2000)

### **6.5. Materia orgánica y humedad del suelo y su efecto sobre los enemigos naturales y su relación con la sombra**

La materia orgánica producida por la sombra también puede resultar beneficiosa para conservar la vida de muchos hongos, enemigos naturales que se desarrollan en el suelo. Así mismo, la humedad que el suelo conserva bajo la sombra y el mantillo, también es beneficiosa para estos agentes controladores (Staver et al. 2001)

## 7. Conclusión

A través de la revisión de diferentes estudios, orientados a aclarar el efecto de la sombra sobre las plagas y enfermedades, podemos decir que estos efectos siguen siendo complejos y algunas veces contradictorios, en dependencia de los organismos considerados dentro del sistema. Algunos autores han encontrado que la sombra es favorable para las enfermedades y plagas a las que hemos hecho mención en esta revisión, otros por el contrario han encontrado que la sombra puede contribuir a reducir la enfermedad. Según la revisión que hemos hecho, con respecto al microclima creado por la sombra y su efecto sobre las plagas y enfermedades, nos damos cuenta que la sombra puede favorecer algunos procesos de las enfermedades e insectos plagas, pero puede ser perjudicial para otros procesos de las mismas enfermedades y plagas, en dependencia del factor climático. Estos resultados contradictorios encontrados ponen de manifiesto que la sombra no favorece en su totalidad a las principales plagas y enfermedades que afectan al café en la región centroamericana y deja puertas abiertas para seguir investigando al respecto. Además, lo que si se tiene claro son los múltiples beneficios de los árboles dentro del cafetal, aparte de esta controversia que se presenta con las plagas y enfermedades.

Entre las investigaciones que podrían llevarse a cabo, están investigaciones participativas con productores y técnicos que podrían intercambiar sus experiencias y sus pensamientos sobre lo descrito anteriormente para llegar a propuestas compartidas de manejo de la sombra para regular las plagas y enfermedades.

Sin embargo, si se tuviera que definir algo se diría lo siguiente:

1. La sombra disminuye la carga fructífera, disminuye el estrés de la planta y desequilibrios fisiológicos. A través de estos efectos mayores, la sombra disminuye la presencia de antracnosis y disminuye el impacto de la roya. Aunque, niveles altos de roya pueden encontrarse bajo sombra y a pleno sol, el impacto de la roya sobre la muerte de ramas parece menor bajo sombra que a pleno sol.
2. La sombra incrementa las condiciones de humedad en la parcela en periodos de lluvia, puede incrementar la energía cinética de las gotas (si la sombra es alta), incrementa la longevidad de las hojas del café y no las renueva tan rápidamente, puede ser hospedera del ojo de gallo; por estos motivos se piensa que la sombra es favorable para el ojo de gallo y que un manejo de la sombra es necesario para evitar fuertes epidemias. Sin embargo, este manejo de la sombra deberá acompañarse de un manejo eficiente de las malezas las cuales también albergan el hongo. En este sentido, la sombra realiza un control bastante eficiente sobre las malezas, lo que contribuye también a reducir hospederos de la enfermedad, además de que disminuye los costos de producción.
3. La sombra evita floraciones dispersas, disminuye las temperaturas, favorece la acción de los biocontroladores. A través de esos efectos mayores, se piensa que la sombra disminuye los daños por broca.

## 8. Agradecimientos

**“This project is part of the International Climate Initiative (ICI). German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety (BMUB) supports this initiative on the basis of a decision adopted by the German Bundestag.”**



## 9. Literatura consultada

- Angrand, J.; Vaast, P.; Beer, J.; Benjamin, T. 2004. Comportamiento vegetativo y productivo de *Coffea arabica* a pleno sol y en tres sistemas agroforestales en condiciones subóptimas en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*: 41-42.
- Arcila P, J.; Jaramillo R, A.; Baldión R, V.; Bustillos P, A.E. 1993. La floración del café y su relación con el control de la broca. *Avances Técnicos Cenicafe*. No 193. 6 p.
- Avelino, J.; Zelaya, H.; Merlo, A.; Pineda, A.; Ordoñez, M.; Savary, S. 2006. The intensity of coffee rust epidemic is dependent on production situations. *Ecological modelling* 197(3): 431-447.
- Avelino, J.; Cabut, S.; Barboza, B.; Barquero, M.; Alfaro, R.; Esquivel, C.; Durand, J.F.; and Cilas, C. 2007. Topography and crop management are key factors for the development of American leaf spot epidemics on coffee in Costa Rica. *Phytopathology* 97:1532-1542.
- Avelino, J.; Rivas, G. 2013. La roya anaranjada del cafeto <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01071036>, 47 p.
- Avelino J.; Ten Hoopen G.M.; DeClerck F. 2011. Ecological mechanisms for pest and disease control in coffee and cacao agroecosystems of the neotropics. In: Rapidel Bruno.; Le Jean-Francois.; Beer John (eds.) *Ecosystem services from agriculture and agroforestry: measurement and payment*. Londres. Earthscan publications, P. 91-117.
- Avelino, J.; Toledo, J.; Medina, B. 1995. Desarrollo del ojo de gallo (*Mycena citricolor*) en una finca del norte de Guatemala y evaluación de los daños provocados por esta enfermedad. XVI Simposio de Caficultura Latinoamericana. Managua, Nicaragua. 25-29 de octubre 1993.
- Avelino, J.; Willocquet, L.; Savary, S. 2004. Effects of crop management patterns on coffee rust epidemics *Plant pathology* 53(5): 541-547.
- Baker, P.S.; Rivas, A.; Balbuena, R.; Ley, C.; Barrera, J.F. 1994. Abiotic mortality factors of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*). *Entomología Experimentalis Et Applicata* 71:201-209.
- Barradas, V.L.; Fanjul, L. 1986. Microclimatic characterization of shaded and opengrown coffee (*Coffea arabica* L.) plantations in Mexico. *Agricultural Forest Meteorology* 38: 101--112.
- Beer, J.W.; Muschler, R.G.; Kass, D.; Somarriba, E. 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38:139-164.
- Bouroncle, C.; Imbach, P.; Laderach, P.; Rodríguez, B.; Medellín, C.; Fung, E. 2014. La agricultura de Nicaragua y el cambio climático: ¿Dónde están las prioridades para la adaptación? CCAFS/CGIAR. 8 p.
- Bowden, J., Gregory, P.H., y Johnson, C.G., 1971. *Possible wind transport of coffee leaf rust across the Atlantic ocean*. *Nature*. 229: 500-501.
- Boyer, J. 1968. Efecto de la sombra artificial sobre el crecimiento vegetativo, la floración y la fructificación de los cafetos. *Café y Cacao* 12(4): 302-320.
- Bustillo Pardey, A.E. 2006. Una revisión sobre la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), en Colombia. *Revista Colombiana de Entomología* 32(2): 101-116.
- Cabon, M. 2015. Effect of shade on microclimate, soil fertility and productivity of coffee trees in Costa Rica. Turrialba, Costa Rica. Report Internship job. CIRAD-CATIE. 31 p.
- Cannell M, G.R.; Van Noordwijk, M.; Ong, C.K. 1996. The central agroforestry hypothesis: the trees must acquire resources that the crop would not otherwise acquire. *Agrofor Syst* 34:27–31.
- Cannavo, P.; Sansoulet, J.; Harmand, J.M.; Siles, P.; Dreyer, E.; Vaast, P. 2011. Agroforestry associating coffee and *Inga densiflora* results in complementarity for water uptake and decreases deep drainage in Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 140(1-2):1-13.
- Carvajal F. 1939. Ojo de gallo (*Omphalia flavida*): Segunda parte, la forma perfecta del hongo "*Omphalia flavida*" creciendo libremente en la naturaleza como parásito sobre plantas vivas, en el distrito cafetalero del Zapote (Prov. de San José, CR). *Revista del Instituto de Defensa del Café de Costa Rica*. Tomo 7. No.52. p. 550-565.

- Chaves, R.M.; Ten-Caten, A.; Pinheiro, H.A.; Ribeiro, A.C.F.; DaMatta, F.M. 2008. Seasonal change in photoprotective mechanisms of leaves from shade and unshaded field-grown coffee (*Coffea Arabica* L.) trees. *Trees* 22:351-361.
- Cerdán, C. R., Rebolledo, M. C., Soto, G., Rapidel, B., & Sinclair, F. L. (2012). Local knowledge of impacts of tree cover on ecosystem services in smallholder coffee production systems. *Agricultural Systems*, 110, 119-130.
- DaMatta, F.M., 2004. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field Crops Research* 86:99-114.
- DaMatta, F.; Rodriguez, N. 2007. Producción sostenible de cafetales en sistemas agroforestales del Neotrópico: una visión agronómica y ecofisiológica. *Agronomía Colombiana* 25(1): 113-123.
- Damon A. 2000. A review of the biology and control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). Chiapas, México. *Bulletin of Entomological Research* 90: 453-465.
- Estivariz, C.J. 1997. Efecto de sombra sobre floración y producción de *Coffea arabica* var. Caturra, después de una poda completa en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE. CR.
- Fassbender, H.W. 1987. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. Turrialba, Costa Rica. Serie Materiales de enseñanza, CATIE, No 29. 475 p.
- Gil Vallejos, L.F. 2001. Descripción de daños ocasionados por *Colletotrichum* sp. En flores y frutos de café en Colombia. *Avances Técnicos Cenicafe*. No 288. 4 p.
- Granados montero, M del M. 2015. Estudio de la epidemiología y alternativas de manejo agroecológico del ojo de gallo (*mycena citricolor*) en cafeto bajo sistemas agroforestales en Costa Rica. Tesis Ph.D. Rodrigo Facio, Costa Rica. UCR. 256 p.
- Guharay, F.; Monterrey, J.; Monterroso, D.; Staver, Ch. 2000. Manejo integrado de plagas en el cultivo del café. Managua, Nicaragua, CATIE. 265 p. (Serie Técnica. Manual Técnico N° 44).
- Guerra Díaz, A. 1976. Tipo de sombras más comunes. *In* manual técnico del cultivo del café en El Salvador. Santa Tecla, El Salvador, Instituto Salvadoreño de investigación del café: 79-86.
- Jackson, D.; Skillman, J.; Vandermeer, J. 2012. Indirect biological control of the coffee leaf rust, *Hemileia vastatrix*, by the entomogenous fungus, *Lecanicillium lecanii* in a complex coffee agroecosystem. *Biological Control* (1): 89-97.
- Jaramillo, J.; Chabi-Olaye, A.; Borgemeister, C. 2010. Temperature-Dependent Development and Emergence Pattern of *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) from Coffee Berries. *Economic Entomology* 103(4):1159-1165.
- Kushalappa, A.; Ludwig, A. 1982. Calculation of apparent infection rate in plant diseases: Development of a method to correct for host growth. *Phytopathology* (10): 1373-1377.
- Lin, B.B. 2007. Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology* 144: 85-94.
- Lin, B.B. 2010. The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology* 150(4): 510-518.
- López-Bravo, D.F.; Virginio-Filho, E.d.M.; Avelino, J. 2012. Shade is conducive to coffee rust as compared to full sun exposure under standardized fruit load conditions *Crop Protection* 38:21-29.
- Lundgre, B. 1979. Research strategy for soils in agroforestry. *In* Expert consultation on soils research in agroforestry, Nairobi, Kenya, ICRAF, p. 523-538.
- Mariño, Y.A.; Pérez, M.E.; Gallardo, F.; Trifilio, M.; Cruz, M.; Bayman, P. 2016. Sun vs. shade affects infestation, total population and sex ratio of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) in Puerto Rico. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 222: 258-266.
- Muller, R.A.; Eskes, Berry, D.; Bieysse, D. Capítulo 6. 1999. La anthracnosis de los frutos: un grave peligro para la caficultura Centroamericana. *In* Bertrand, B.; Rapidel, B. eds. *Desafíos de la caficultura de Centroamérica*. San José, Costa Rica. p. 261-291.

- Ojeda K, Suèscom J. 2012. Evaluación de cinco cepas de hongos nativos como controladores biológicos de la enfermedad "Ojo de Pollo" (*Mycena citricolor*) en café (*Coffea arabica*) en condiciones in vitro. Tesis Bach. Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador. 68p.
- Ovalle-Rivera, O.; Läderach, P.; Bunn, C.; Obersteiner, M.; Schroth, G. 2015. Projected Shifts in *Coffea arabica* Suitability among Major Global Producing Regions Due to Climate Change. PLoS ONE 10(4): e0124155. doi:10.1371/journal.pone.0124155.
- Padovan, M.P.; Cortez, V.J.; Navarrete, L.F.; Navarrete, E.D.; Deffner, A.C.; Centeno, L.G.; Munguía, R., Barrios, M.; Víchez-Mendoza, J.S.; Vega-Jarquín, C.; Costa, A.N., Brook, R.M.; Rapidel, B. 2015. Root distribution and water use in coffee shaded with tabebuia rosea bertol. And simarouba glauca dc. Compared to full sun coffee in sub-optimal environmental conditions. Agroforestry Systems. 89(5): 857-868.
- Pacheco A. 2012. Epidemiología de la enfermedad ojo de gallo del café (*Coffea arabica*) causada por el hongo *Mycena citricolor* Berk & Curt en el área centro occidental de Guatemala, C.A. Tesis Lic. Universidad de San Carlos de Guatemala. 81p.
- Pico Rosado, J.T. 2014. Efecto de la sombra del café y el manejo sobre la incidencia, severidad, cantidad de inóculo y dispersión de *Hemileia vastatrix* en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag.Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 65 p.
- Ramírez Builes, V.H.; Jaramillo Robledo, A.; Arcila Pulgarín, J. 2010. Rangos adecuados de lluvia para el cultivo del café en Colombia. Cenicafé, Avances Tecnicos 395. 8 p.
- Rapidel B.; Allinne C.; Cerdan C.; Meylan L.; Virginio Filho E.D.M.; Avelino J. 2015. In: Montagnini F.; Somarriba E.; Murgueitio E.; Fassola H.; Eibl B. (Eds.). Sistemas Agroforestales: Funciones Productivas, Socioeconómicas y Ambientales. Colombia: CATIE, p. 5-20. (Serie técnica. Informe técnico CATIE, 402).
- Rao, D. V., and Tewari, J. P. 1989. Occurrence of magnesium oxalate crystals on lesions incited by *Mycena citricolor* on coffee. Phytopathology 79:783-787.
- Rosenzweig, C.; Hillel, D. 1998. Climate change and the global harvest: potential impacts of the greenhouse effect on agriculture. Oxford University Press, New York. 324 p.
- Sánchez, E.; Dufour, B.; Olivas, A.P.; Virginio Filho, E. De M. Vilches, S.; Avelino, J. 2013. Shade has antagonistic effects on coffee berry borer Proceedings of the 24th International Conference on Coffee Science (ASIC), November 11-16, 2012, 2013. San José, Costa Rica: ASIC.
- Sequeira, L. 1958. The host range of *Mycena citricolor* (Berk and Curt) Sacc. Turrialba Vol. 8(4): 136-147.
- Siles, P.; Harmand, J.M.; Vaast, P. 2009. Effects of Inga densiflora on the microclimate of coffee (*Coffea arabica* L.) and overall biomass under optimal growing conditions in Costa Rica. Agroforest system. Published online. 18 p.
- Staver, C; Guharay, F; Monterroso, D. and Muschler, R. 2001. Designing pest-suppressive multistrata perennial crop systems: shade-grown coffee in Central America. Agroforestry Systems 53(2):151-170.
- Thériez, M. 2015. Los efectos de la sombra sobre la energía cinética de las gotas de agua, la cobertura del suelo, la infiltración del agua, la roya y el dieback en Turrialba, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica. Informe de pasantía voluntaria. CIRAD. 32 p.
- Vis, M. (1986). Interception, drop size distributions and rainfall kinetic energy in four Colombian forest ecosystems. *Earth Surface Processes and Landforms*, 11(6): 591-603.
- Véliz-Chávez, P.C.; González-Sosa, E.; Barajas-Ortiz, S del R.; Ramos-Salinas, N.M. 2012. El efecto pantalla o sombra de los árboles en la formación de los escurrimientos urbanos. Tecnología y Ciencias del Agua 3(4):73-87.
- Wang, A.; Avelino, J. 1999. El ojo de gallo del cafeto (*Mycena citricolor*). In: Bertrand Benoit (ed.), Rapidel Bruno (ed.). Desafíos de la caficultura en Centroamérica. San José: IICA, p.243-260.
- Wellman, F. L. 1950. Dissemination of *Omphalia* leaf spot of coffee. Turrialba 1:12-27.

## 10. Anexos

### Anexo 1. Efecto de la sombra sobre la radiación solar, temperatura, humedad relativa (del aire) y humedad de la hoja

a)

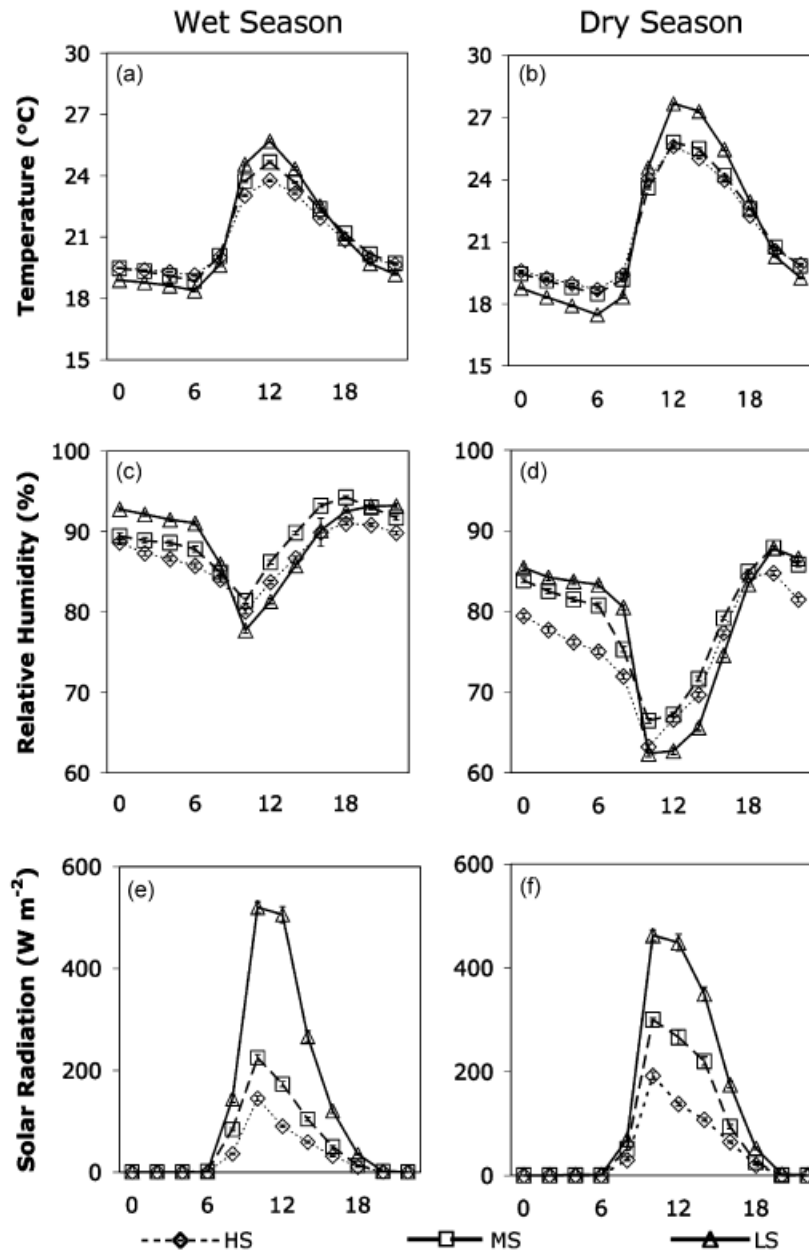


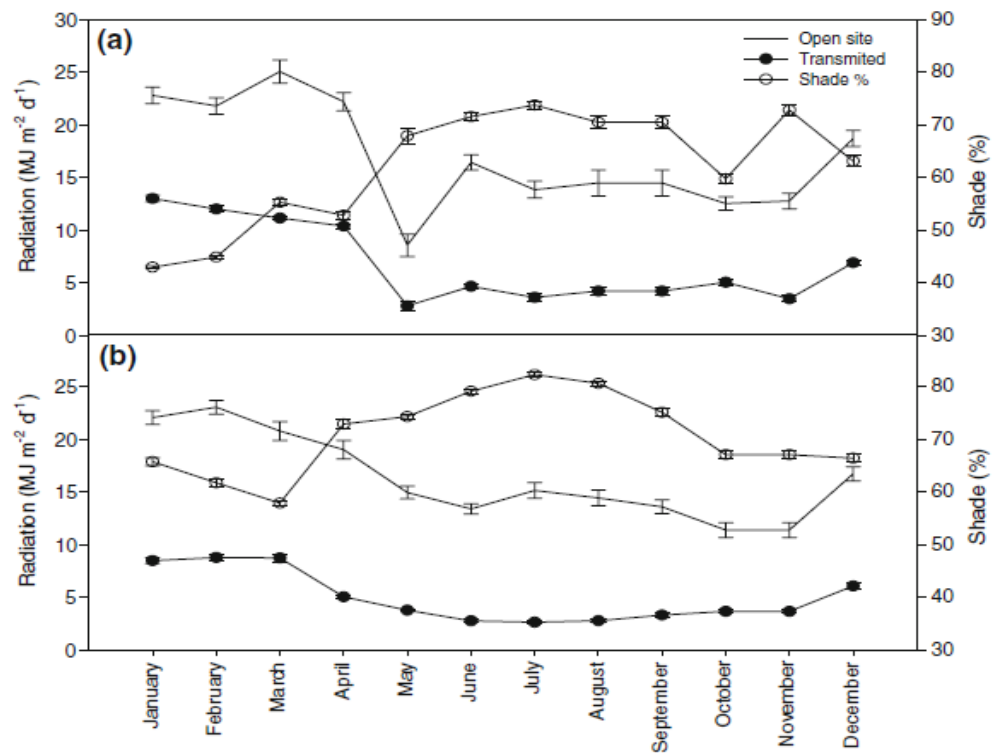
Fig. 1. Site averages of temperature (a and b), humidity (c and d), and solar radiation (e and f) by time (hour of the day), separated into wet and dry season. HS ( $\diamond$ ) represents the high shade site, MS ( $\square$ ) represents the medium shade site, and LS ( $\triangle$ ) represents the low shade site. Time is given as military time. Standard error bars were calculated for each point.

**Fuente:** Lin, B.B. 2007. Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology* 144: 85-94.

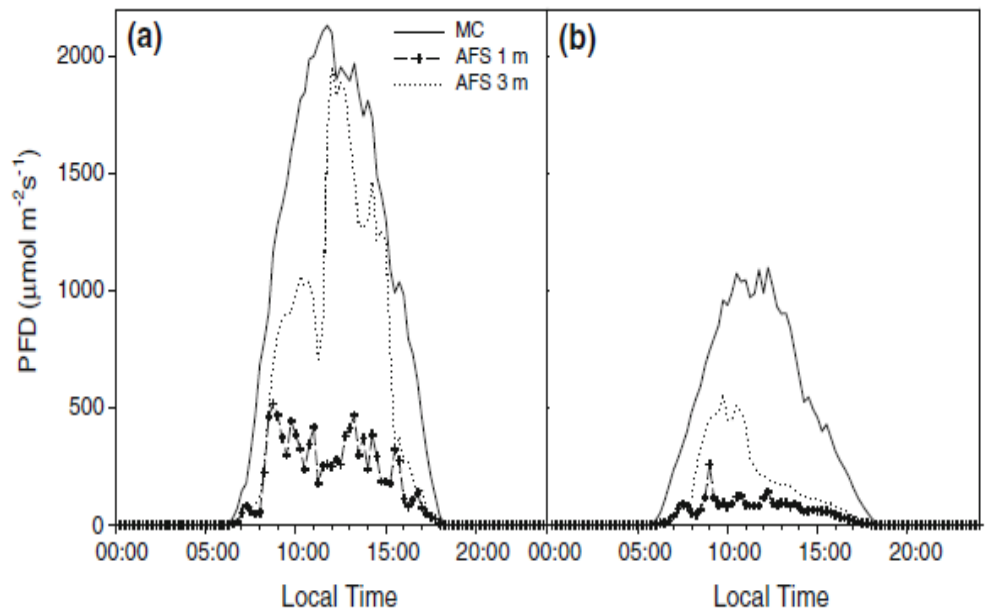


b)

**Fig. 1** Annual dynamics of daily transmitted radiation and shade level in a coffee agroforestry system with *Inga densiflora* in San Pedro de Barva, Costa Rica, in **a** 2004 and **b** 2005. Vertical bars denote  $\pm$  standard errors

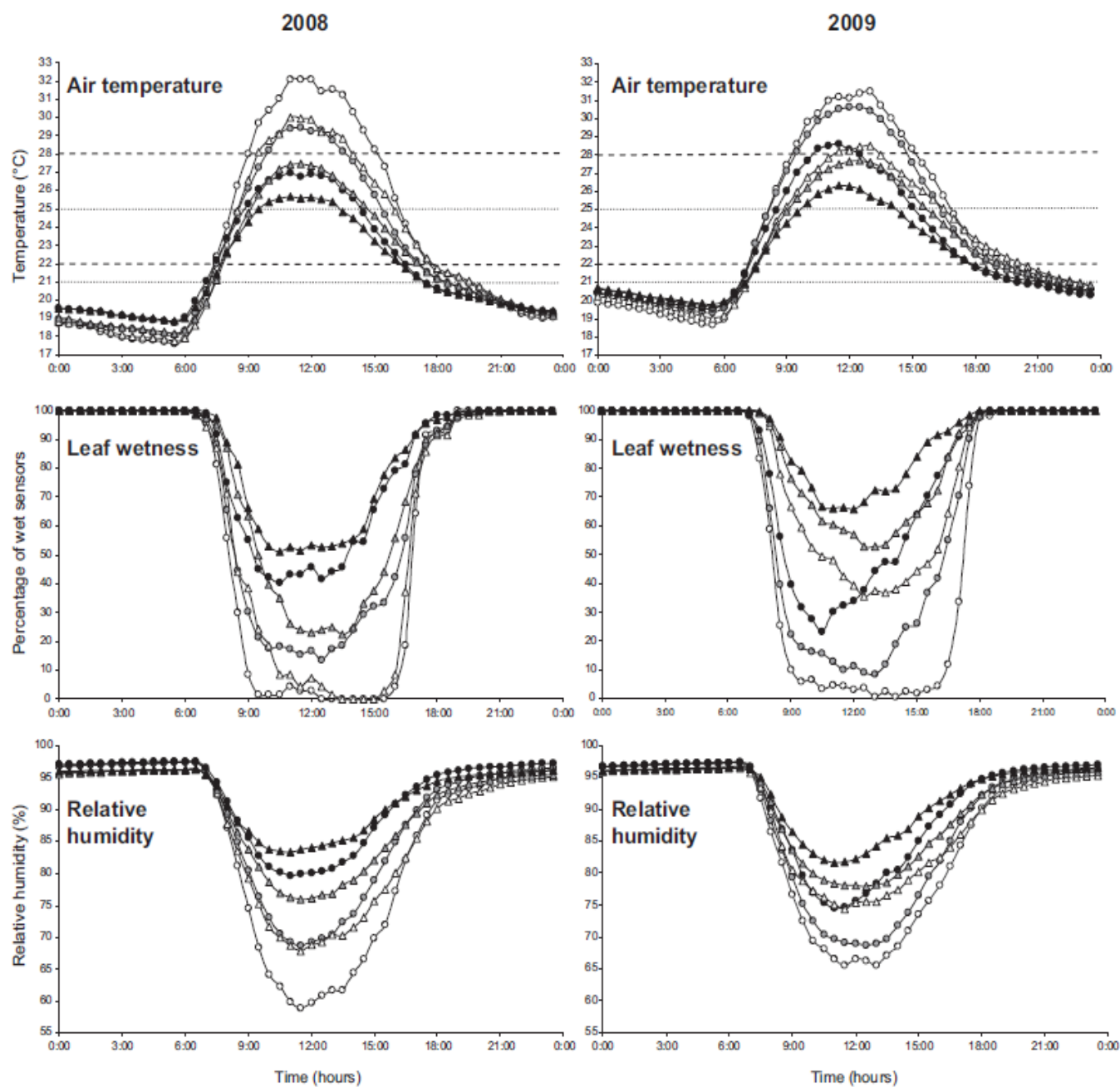


**Fig. 2** Mean diurnal time courses for transmitted radiation in coffee monoculture (MC) and at 1 and 3 m from the base of *Inga densiflora* trees ( $n = 8$ ) in a coffee agroforestry system (AFS) in San Pedro de Barva, Costa Rica, from consecutive measurements during 15 days in **a** April 2005 (dry season) and **b** October 2005 (rainy season)



**Fuente:** Siles, P.; Harmand, J.M.; Vaast, P. 2009. Effects of *Inga densiflora* on the microclimate of coffee (*Coffea arabica* L.) and overall biomass under optimal growing conditions in Costa Rica. Agroforest system. Published online. 18 p.

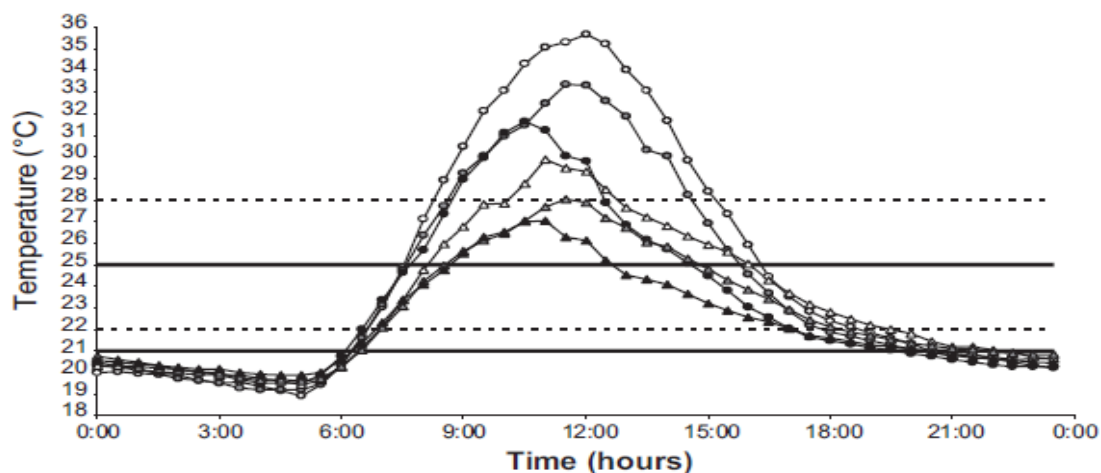
c)



**Fig. 3.** Intra-day variations in air temperature, leaf wetness, relative humidity during the rainy season, under different daily rainfall conditions (no rainfall: white,  $\leq 5$  mm: grey,  $> 5$  mm: black) with full sun exposure ( $\circ$ ) and under shaded conditions ( $\Delta$ ) over two consecutive years. Days with missing data were not included in the calculations. Optimum temperature range for germination and infection (continuous lines) and for the latent period (dotted lines) according to Waller (1982). See text for shade cover, studied periods, and number of days in each daily rainfall category.

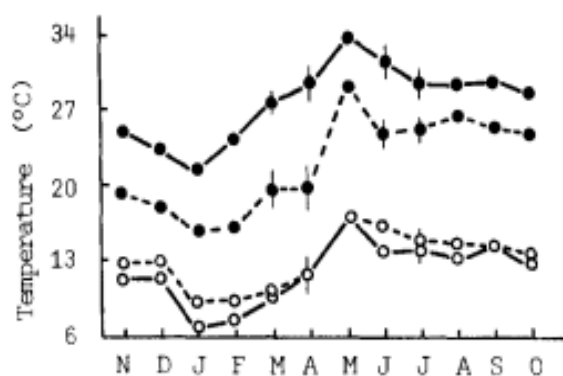
**Fuente:** López-Bravo, D.F.; Virginio-Filho, E.d.M.; Avelino, J. 2012. Shade is conducive to coffee rust as compared to full sun exposure under standardized fruit load conditions Crop Protection 38:21-29.

d)



**Fig. 4.** Intra-day variations in leaf temperature during the 2009 rainy season, under different rainfall conditions (no rainfall: white,  $\leq 5$  mm: grey,  $> 5$  mm: black) with full sun exposure ( $\circ$ ) and under shaded conditions ( $\Delta$ ). Days with missing data were not included in the calculations. Optimum temperature range for germination and infection (continuous lines) and for the latent period (dotted lines) according to Waller (1982). See text for shade cover, studied period, and number of days in each daily rainfall category.

**Fuente:** López-Bravo, D.F.; Virginio-Filho, E.d.M.; Avelino, J. 2012. Shade is conducive to coffee rust as compared to full sun exposure under standardized fruit load conditions Crop Protection 38:21-29.

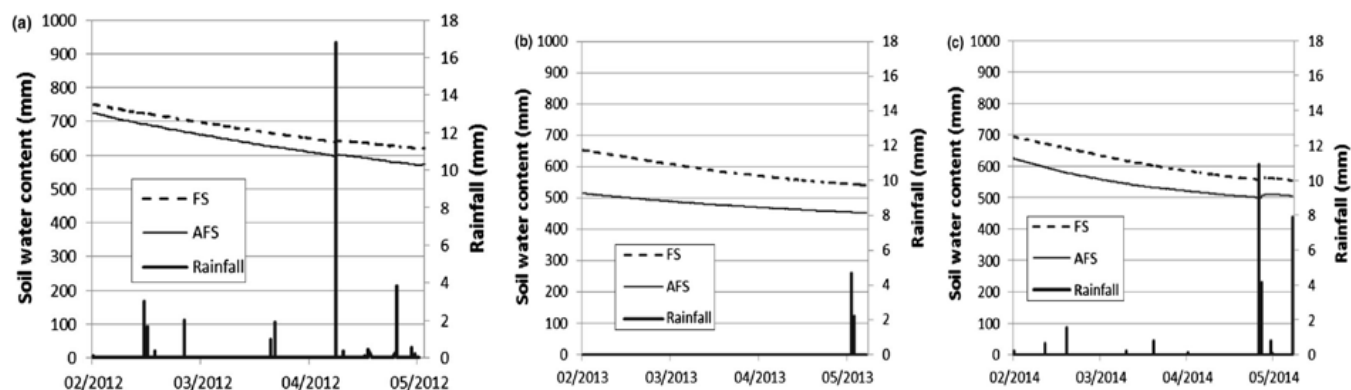


**Fig. 3.** Yearly patterns of maximum air temperatures (closed symbols) and minimum air temperatures (open symbols) at shaded site (broken lines) and at open site (full lines). Vertical bars represent one standard error of the mean (SE). Where no bars are presented SE was smaller than the symbols.

**Fuente:** Barradas, V.L.; Fanjul, L. 1986. Microclimatic characterization of shaded and opengrown coffee (*Coffea arabica* L.) plantations in Mexico. Agricultural Forest Meteorology 38: 101--112.

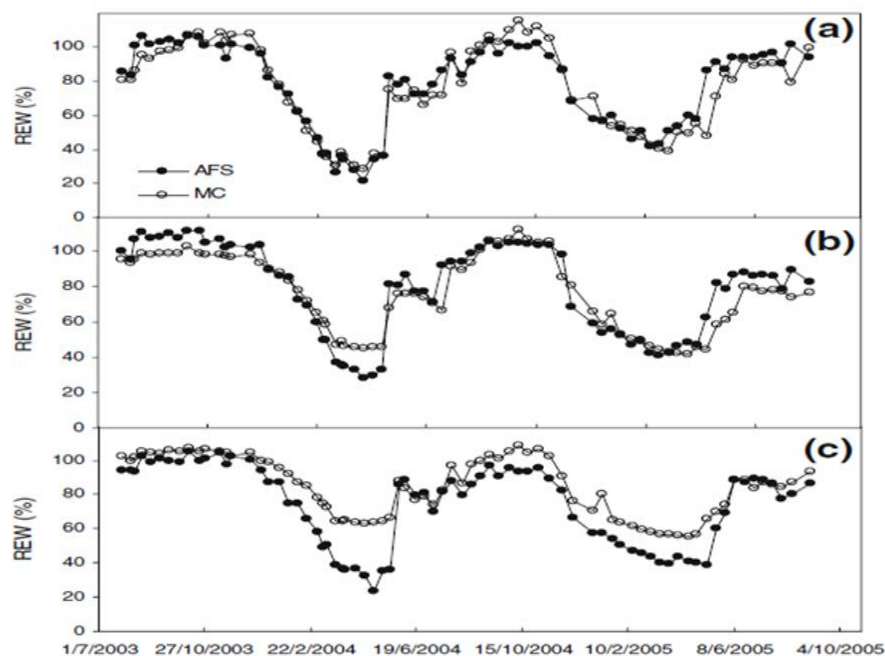
## Anexo 2. Efecto de la sombra sobre la humedad del suelo

2a)



**Fig. 8** A comparison of soil water content in the whole soil profile (2000 mm) from the mean of three trenches in the full sun and six trenches in agroforestry in the **a** 2012, **b** 2013 and **c** 2014 dry periods

**Fuente:** Padovan, M.P.; Cortez, V.J.; Navarrete, L.F.; Navarrete, E.D.; Deffner, A.C.; Centeno, L.G.; Munguía, R.; Barrios, M.; Víchez-Mendoza, J.S.; Vega-Jarquín, C.; Costa, A.N.; Brook, R.M.; Rapidel, B. 2015. Root distribution and water use in coffee shaded with *tabebuia rosea bertol.* And *simarouba glauca dc.* Compared to full sun coffee in sub-optimal environmental conditions. *Agroforestry Systems*. 89(5): 857-868.

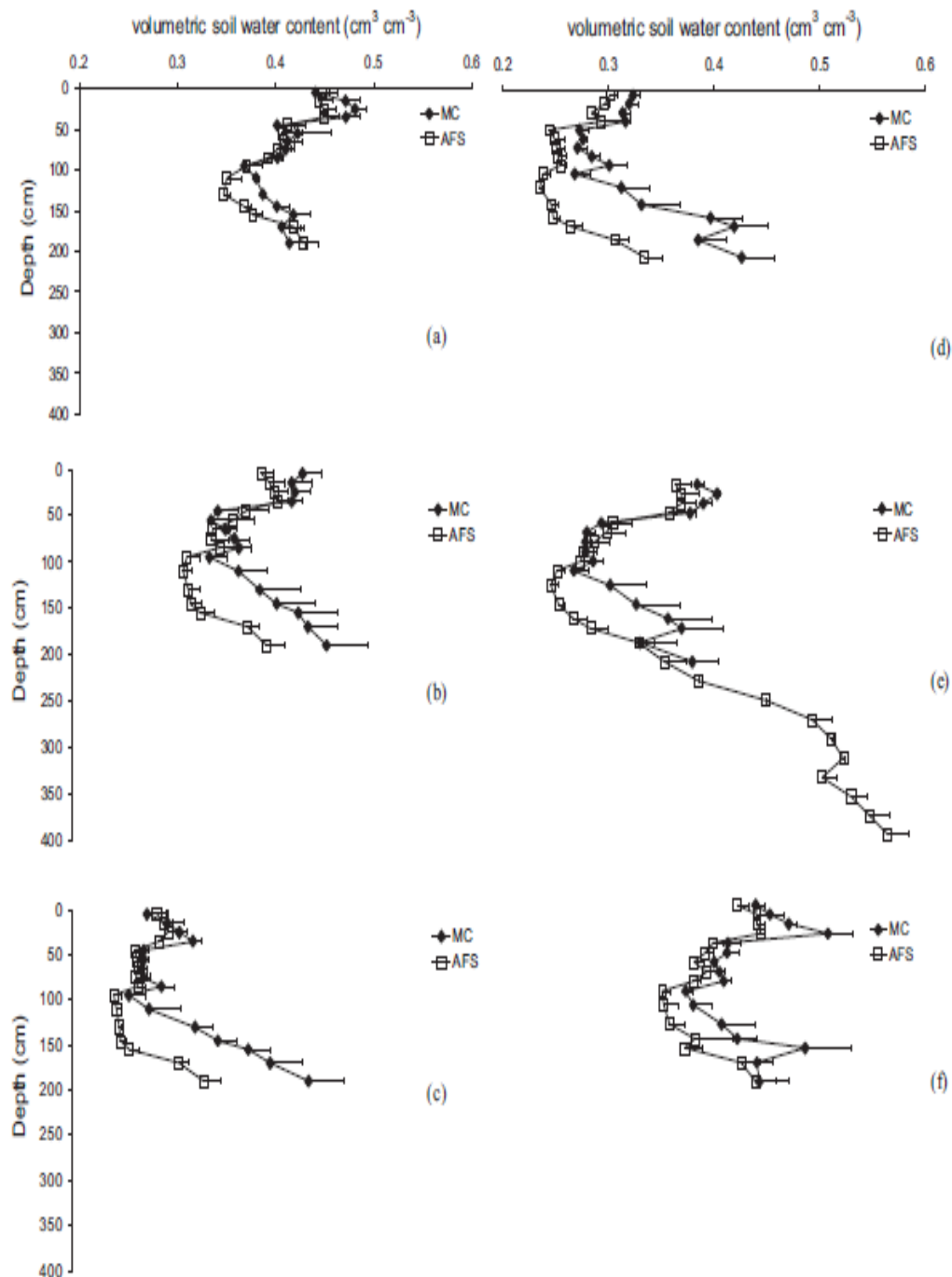


**Fig. 4** Time course of the relative soil extractable water (REW) at depths of **a** 0–60 cm, **b** 60–120 cm and **c** 120–150 cm in a coffee monoculture (MC) and a coffee agroforestry system (AFS) in San Pedro de Barva, Costa Rica, measured from July 2003 to October 2005

**Fuente:** Siles, P.; Harmand, J.M.; Vaast, P. 2009. Effects of *Inga densiflora* on the microclimate of coffee (*Coffea arabica* L.) and overall biomass under optimal growing conditions in Costa Rica. *Agroforest system*. Published online. 18 p.



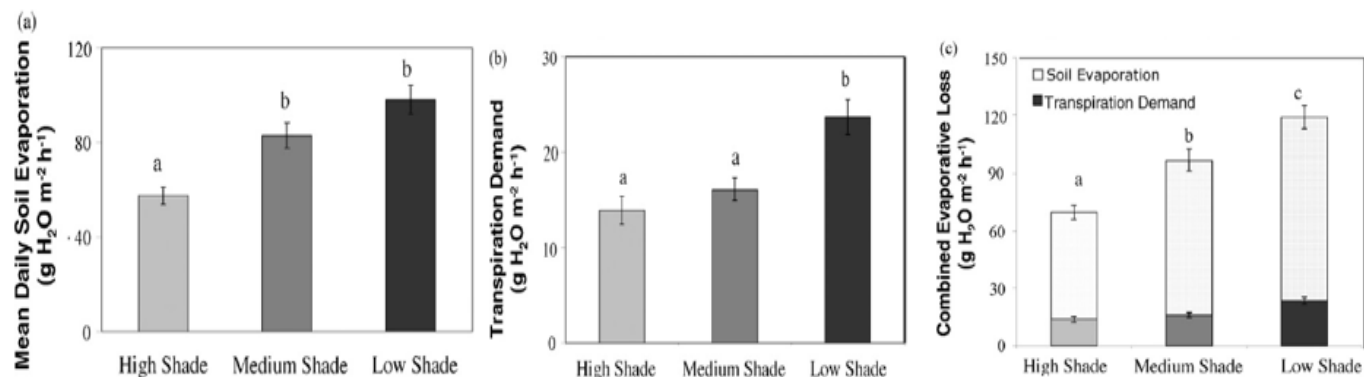
2b)



**Fig. 2.** Mean soil water content profiles at 6 dates in the MC and AFS plots. (a) End of the 2003 rainy season (November 2003); (b), (c), (d) dry season 2004 (January, March and April 2004, respectively); (e), (f) beginning of the rainy season 2004 (May and June 2004, respectively). Bars represent standard errors.

**Fuente:** Cannavo, P.; Sansoulet, J.; Harmand, J.M.; Siles, P.; Dreyer, E.; Vaast, P. 2011. Agroforestry associating coffee and *Inga densiflora* results in complementarity for water uptake and decreases deep drainage in Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 140(1-2):1-13.

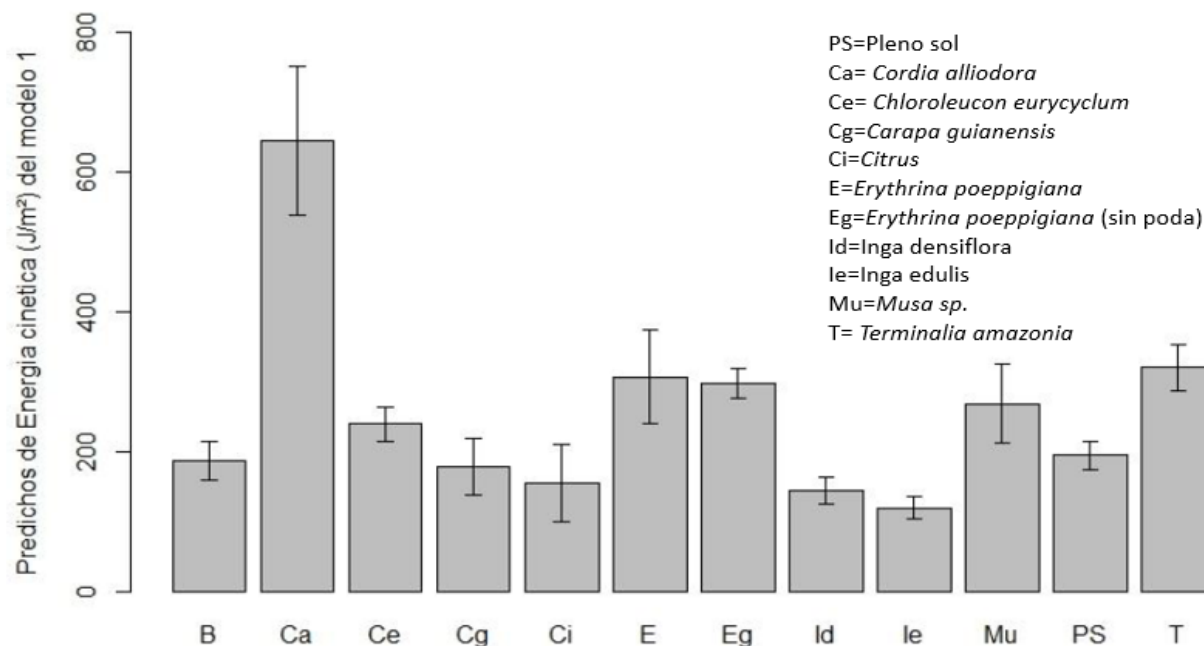
### Anexo 3. Efecto de la sombra sobre la evaporación del agua del suelo



**Fig. 2.** Average potential water loss due to soil evaporation (a), transpiration demand (b), and combined water loss through both sources (c): soil evaporation rates were recalculated to match the units of transpiration demand. The two medium shade sites were combined for analysis. Error bars represent one standard error (a, b, and c groups are significantly different at p = 0.05 level).

**Fuente:** Lin, B.B. 2010. The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology* 150(4): 510-518.

### Anexo 4. Efecto de la sombra sobre la energía cinética de las gotas de agua (de la lluvia)

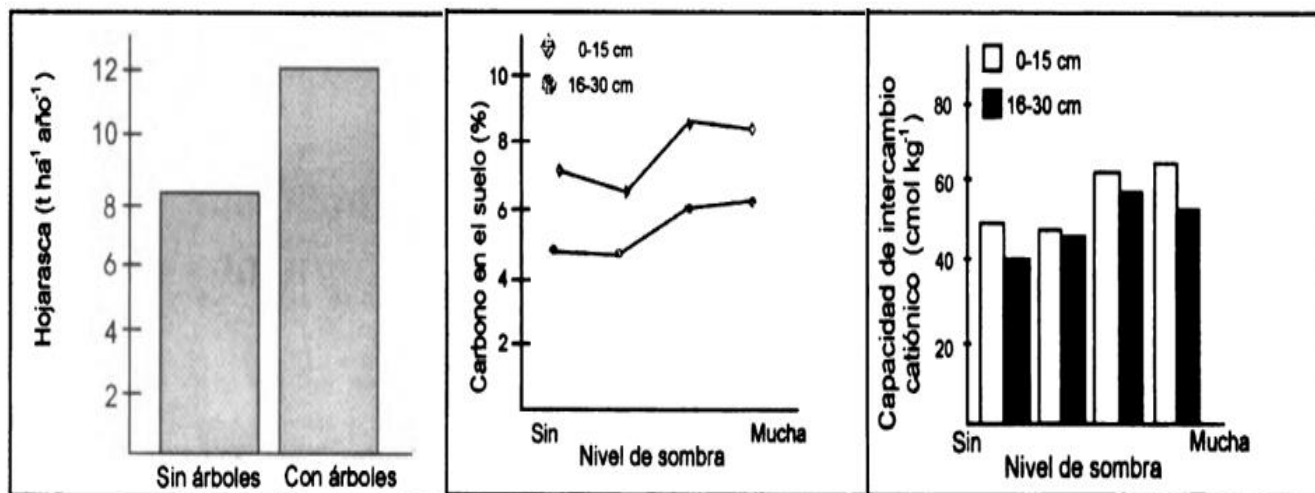


**Ilustración 8:** Energía cinética de la gotas de lluvia predicha en función de la especie de árbol o del pleno sol; las barras de error corresponden a la error estándar.

**Fuente:** Théréz, M. 2015. Los efectos de la sombra sobre la energía cinética de las gotas de agua, la cobertura del suelo, la infiltración del agua, la roya y el dieback en Turrialba, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica. Informe de pasantía voluntaria. CIRAD. 32 p.

**Anexo 5. Efecto de la sombra sobre el contenido de materia orgánica, cantidad de hojarasca, ramas en el suelo y control de las malezas.**

a)



**Fuente:** Muschler, R. 1999. Árboles en cafetales Turrialba, Costa Rica. CATIE. 139 p. Modificado de Rice R. 1991. Observaciones sobre la transición en el sector cafetalero. Agroecología Neotropical 2: 1-6.

b)

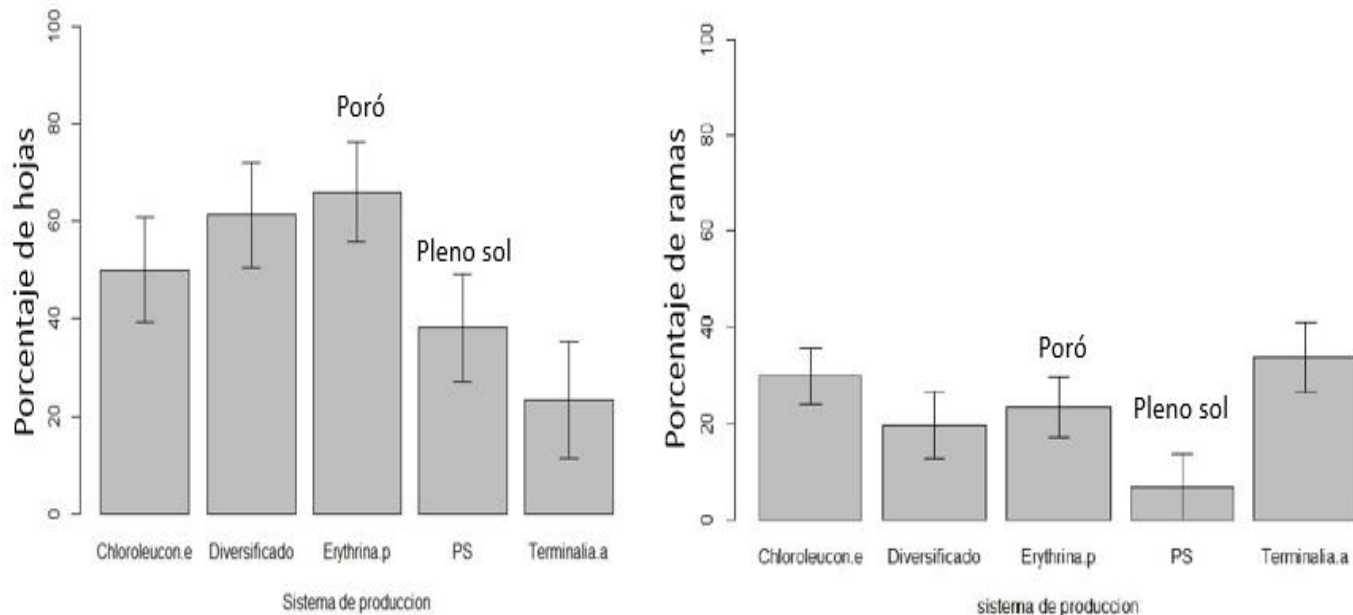


Ilustración 10: Porcentaje de hojas sobre el suelo por sistema de producción; las barras de errores corresponden al error estándar.

Ilustración 11: Porcentaje de ramas sobre el suelo por sistema de producción; las barras de errores corresponden a la error estándar.

**Fuente:** Thériez, M. 2015. Los efectos de la sombra sobre la energía cinética de las gotas de agua, la cobertura del suelo, la infiltración del agua, la roya y el dieback en Turrialba, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica. Informe de pasantía voluntaria. CIRAD. 32 p.

c)

<b>Reducción de malezas por efecto de la sombra</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Sol</b>	<b>Poda total de los árboles</b>	<b>Sombra abierta</b>	<b>Sombra densa</b>
<b>(Nivel de sombra, %)</b>	<b>(0)</b>	<b>(3-50)</b>	<b>(46-78)</b>	<b>(77-90)</b>
Cobertura de malezas (%)	80	65	< 5	< 5
Biomasa de malezas (t ha <sup>-1</sup> )	3.6	2.6	< 0.1	< 0.1
Cobertura de hojarasca (%)	< 30	< 50	100	100
Biomasa de hojarasca (t ha <sup>-1</sup> )	< 0.5	< 0.5	4.0	4.8

**Fuente:** Muschler, R. 1999. Árboles en cafetales Turrialba, Costa Rica. CATIE. 139 p. Modificado de Rice R. 1991. Observaciones sobre la transición en el sector cafetalero. Agroecología Neotropical 2: 1-6.

## Anexo 6. Efecto de la sombra sobre enemigos naturales de enfermedades y plagas del café

a)

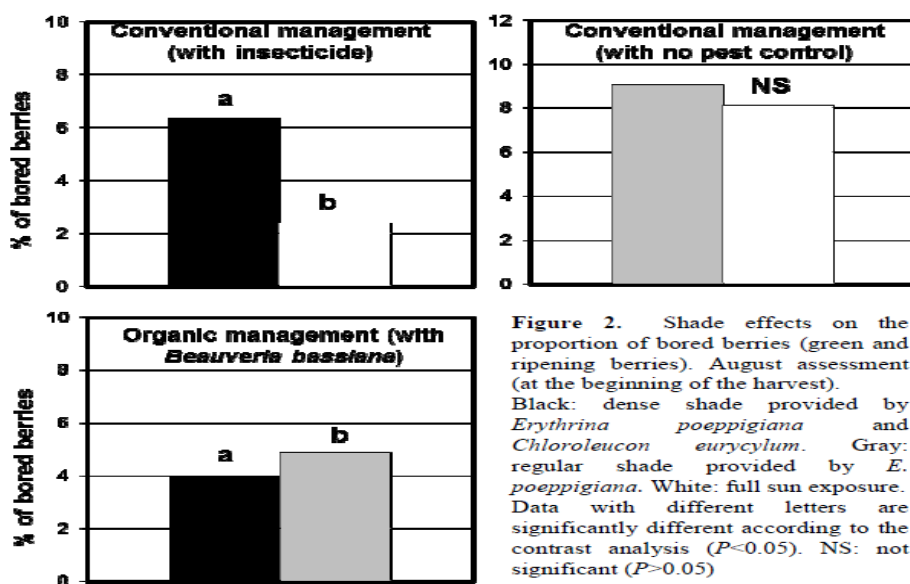
Secondary consumers	Life form	Coffee pest consumed	Other feed sources	Response to shade*	Response to greater humidity*
<i>Beauveria bassiana</i>	fungus	berry borer	other insects	++	++
<i>Verticillium lecanii</i>	fungus	leaf rust	insects	0	+++
<i>Cephalonomia stephanoderis</i>	insect	berry borer	none	0	+
Spore-consuming insect	insect	leaf rust	other rust spores	not known	not known
Nematotrophs	nematode	nematodes	diverse	0	++

\* The responses, based on field observations, are given on a qualitative scale from a negative response (–) to a positive response (+) to the mentioned factor. No response is indicated by 0, and strong or very strong responses by two or three signs.

**Fuente:** Staver, C; Guharay, F; Monterroso, D. and Muschler, R. 2001. Designing pest-suppressive multistrata perennial crop systems: shade-grown coffee in Central America. Agroforestry Systems 53(2):151-170.



B)



**Fuente:** Sánchez, E.; Dufour, B.; Olivas, A.P.; Virginio Filho, E. De M. Vilches, S.; Avelino, J. 2013. Shade has antagonistic effects on coffee berry borer Proceedings of the 24th International Conference on Coffee Science (ASIC). San José, Costa Rica: ASIC.

c)

Cuadro 12. AUDPC-AI, PCA, PDAF y parasitismo, según la intensidad del manejo.

Año	Sombra_Manejo	Hojas			Área foliar			Parasitismo <i>L. lecanii</i> (%)
		AUDPC-AI <sub>h</sub>	PCA <sub>h</sub>	PDAF <sub>h</sub>	AUDPC-AI <sub>a</sub>	PCA <sub>a</sub>	PDAF <sub>a</sub>	
2013	SMMCSF	10215 a	58.1 a	79.7 a	448 a	72.5 a	80.9 a	8.3 a
	SMMO	8893 b	58.6 a	59.1 b	156 b	62.6 a	65.5 b	4.6 b
2014	SMMCSF	8431 a	127.0 a	66.5 a	372 a	191.4 a	65.9 a	3.8 a
	SMMO	7442 b	123.5 a	33.8 b	195 b	220.4 a	33.0 b	4.7 a

Prueba de contrastes  $\leq 0.05$ . Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos en cada año (columnas). (AUDPC - AI) = Área bajo la curva de progreso de la enfermedad del acumulado instantáneo, PCA = porcentaje de crecimiento acumulado, PDAF = porcentaje de defoliación acumulada final.

SMMCSF = Sombra media manejo convencional sin fungicida, SMMO = Sombra media manejo orgánico

Cuadro 13. AUDPC-AI, PCA, PDAF y parasitismo, según la intensidad del manejo

Año	Sombra_Manejo	Hojas			Área foliar			Parasitismo <i>L. lecanii</i> (%)
		AUDPC-AI <sub>h</sub>	PCA <sub>h</sub>	PDAF <sub>h</sub>	AUDPC-AI <sub>a</sub>	PCA <sub>a</sub>	PDAF <sub>a</sub>	
2013	SSMCF	8188 B	61.2 a	54.9 b	214 a	75.1 a	59.2 b	1.7 b
	SSMCSF	10215 A	65.7 a	78.7 a	260 a	68.4 a	82.4 a	4.3 a
2014	SSMCF	8020 A	203.8 a	42.5 b	230 a	200.1 a	41.6 b	3.7 a
	SSMCSF	8431 A	130.0 a	57.2 a	320 a	388.8 a	56.8 a	2.5 a

Prueba de contrastes  $\leq 0.05$ . Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos en cada año (columnas). (AUDPC - AI) = Área bajo la curva de progreso de la enfermedad del acumulado instantáneo, PCA = porcentaje de crecimiento acumulado, PDAF = porcentaje de defoliación acumulada final.

SSMCF = Sin sombra manejo convencional con fungicida, SSMCSF = Sin sombra manejo convencional sin fungicida

**Fuente:** Pico Rosado, J.T. 2014. Efecto de la sombra del café y el manejo sobre la incidencia, severidad, cantidad de inóculo y dispersión de *Hemileia vastatrix* en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag.Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 65 p.

## Anexo 7. Efecto de la sombra sobre porcentaje de hojas con roya, según su relación con la carga fructífera

a)

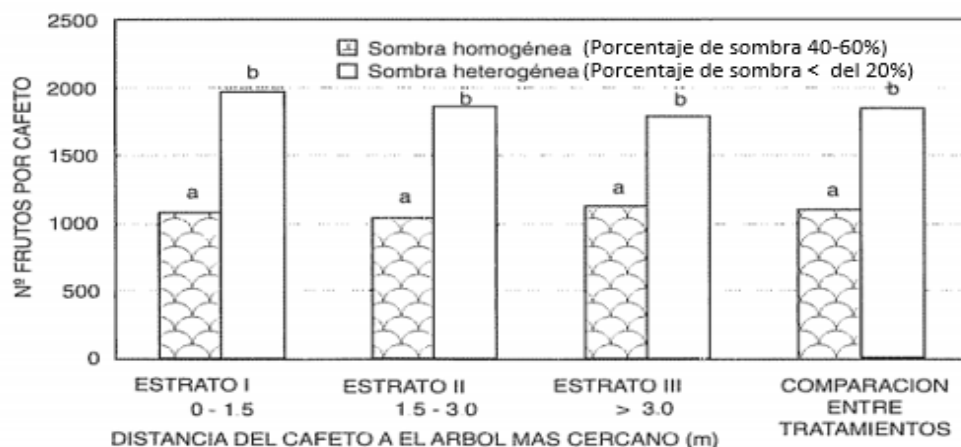


Figura 2. Producción potencial (# de frutos antes de la cosecha) por planta, bajo sombra homogénea y heterogénea y a tres distancias del árbol vecino.

**Fuente:** Estivariz, C.J. 1997. Efecto de sombra sobre floración y producción de *Coffea arabica* var. Caturra, después de una poda completa en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE. CR.

b)

D.F. López-Bravo et al. / Crop Protection 38 (2012) 21–29

25

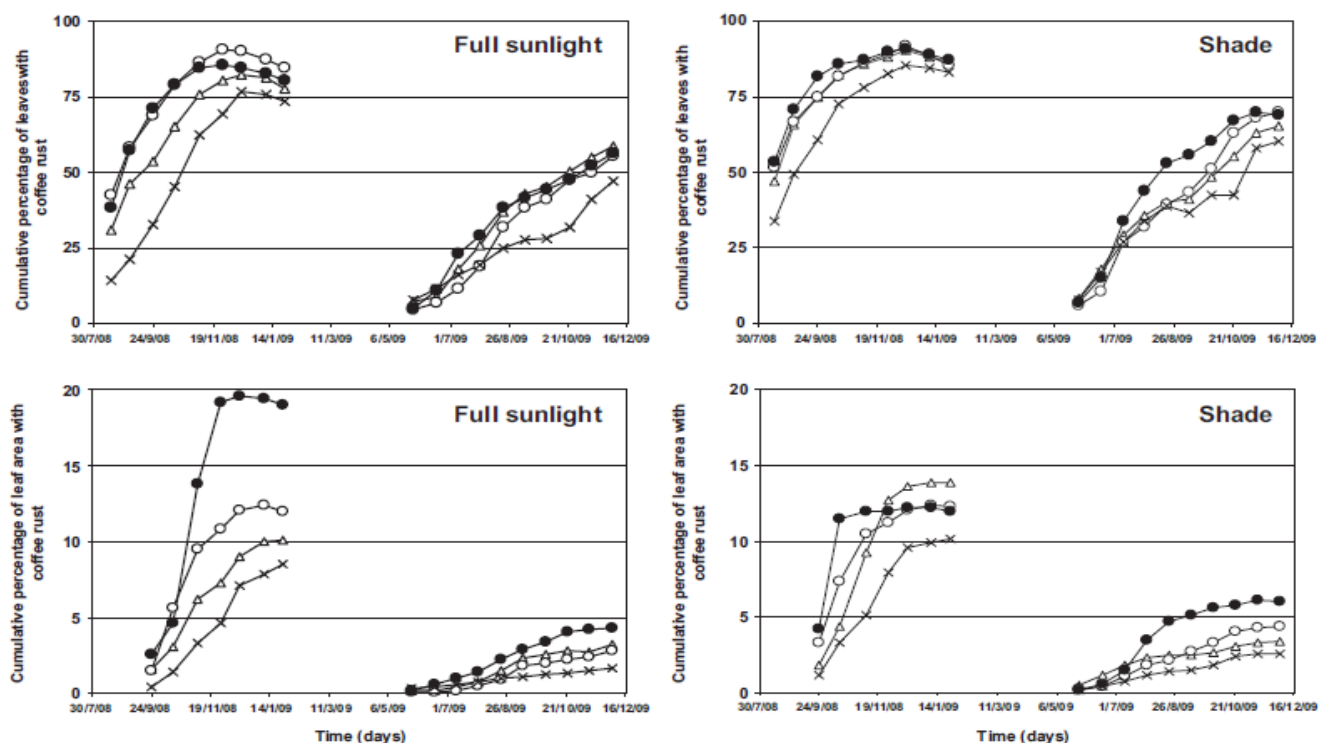


Fig. 2. Coffee rust progress curves expressed as cumulative percentages of infected leaves or infected leaf area, as a function of the number of fruiting nodes per coffee plant and light exposure. Number of fruiting nodes per coffee plant: 0 (x), 150 (Δ), 250 (○), 500 (●).

**Fuente:** López-Bravo, D.F.; Virginio-Filho, E.d.M.; Avelino, J. 2012. Shade is conducive to coffee rust as compared to full sun exposure under standardized fruit load conditions Crop Protection 38:21-29.

## Anexo 8. Efecto de la sombra sobre la broca del café

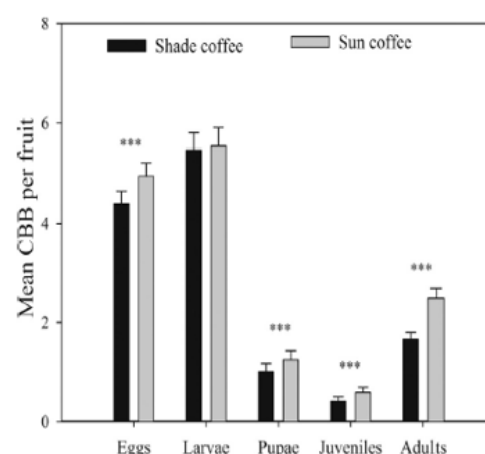
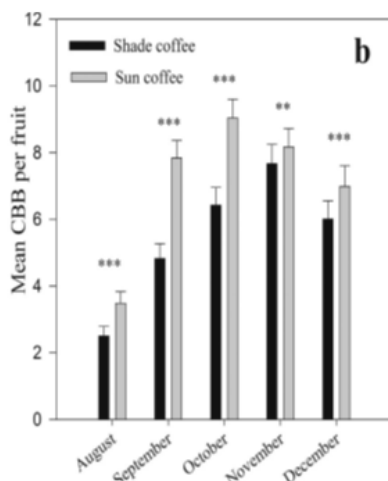
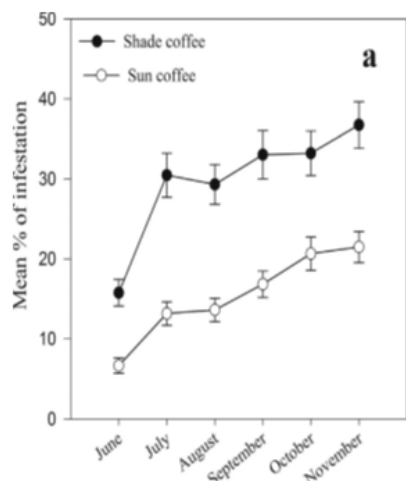


Fig. 1. Monthly changes in infestation (a) and CBB per fruit (b) of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei* F.) in shade vs. sun coffee. Data from 2010 and 2011 are combined. Means  $\pm$  SE are shown. Asterisks indicate a significant effect of coffee agroecosystem (sun vs. shade) on the abundance of individuals. Generalized linear mixed models: \*\*\* =  $p < 0.001$ , \*\* =  $p < 0.01$ , \* =  $p < 0.05$ , =  $p < 0.1$ .

Fig. 2. Population structure of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei* F.) Data from 2010 and 2011 are combined. Means  $\pm$  SE are shown. Asterisks indicate a significant effect of coffee agroecosystem (sun vs. shade) on the abundance of individuals. Generalized linear mixed models: \*\*\* =  $p < 0.001$ , \*\* =  $p < 0.01$ , \* =  $p < 0.05$ , =  $p < 0.1$ .

**Fuente:** Mariño, Y.A.; Pérez, M.E.; Gallardo, F.; Trifilio, M.; Cruz, M.; Bayman, P. 2016. Sun vs. shade affects infestation, total population and sex ratio of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) in Puerto Rico. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 222: 258-266.

## Anexo 9. Efecto de la sombra sobre la floración y producción de café

**Cuadro 3.** Floración y producción de café (*Coffea arabica*) de cuatro años de edad en distintos tratamientos de sombra en la finca Verde Vigor, Pérez Zeledón, Costa Rica

Variables de producción del café	Tipo de sombra			
	<i>Eucalyptus deglupta</i>	<i>Terminalia ivorensis</i>	<i>Erythrina poeppigiana</i>	Pleno sol
Nudos productivos por bandola	9 b <sup>(a)</sup>	8 a	7 a	7 a
Floración 1 (8/02/02; % del total)	19 a	18 a	20 ab	25 b
Floración 2 (22/02/02; % del total)	78 a	80 a	76 a	72 a
Floración 3 (15/03/02; % del total)	3 a	3 a	4 ab	3 ab
Flores por nudo productivo <sup>(b)</sup>	10 a	10 a	10 a	11 b
Frutos por nudo productivo <sup>(a)</sup>	8 b	8 b	6 a	6 a
Caída de frutos (%) <sup>(c)</sup>	15 a	16 a	28 b	36 c

<sup>(a)</sup> Promedios con la(s) misma(s) letra(s) en la misma línea no son significativamente diferentes (prueba de Newman-Keuls;  $\alpha = 0.05$ ); <sup>(b)</sup> número total de flores al 25 de marzo (después de las tres floraciones); <sup>(c)</sup> número de frutos por nudo productivo 24 semanas después de la primera floración; <sup>(d)</sup> caída de frutos calculada 24 semanas después de la primera floración.

**Fuente:** Angrand, J.; Vaast, P.; Beer, J.; Benjamin, T. 2004. Comportamiento vegetativo y productivo de *Coffea arabica* a pleno sol y en tres sistemas agroforestales en condiciones subóptimas en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*: 41-42.